





AUTOMATISIERUNGS-
TECHNIK
16

Dr.-Ing. J. Sawatzky

# Bussysteme in Mikrorechner-Automatisierungsanlagen

# BUSSYSTEME

# IN MIKRORECHNER - AUTOMATISIERUNGSANLAGEN

Bearbeiter: Dr.-Ing. J. Sawatzky, KDT

VEB Geräte- und Reglerwerke Teltow

Betrieb des VEB Kombinat Automatisierungs-
anlagenbau

Herausgeber : Betriebssektion der Kammer der Technik und Hauptabteilung Anlagenentwicklung der VEB Geräte- und Reglerwerke Teltow, Betrieb des VEB Kombinat Automatisierungsanlagenbau

Lektor : Dr.-Ing. P. Holzapfel, KDT
Dipl.-Ing. R. Schönemann, KDT

Redaktionsschluß : 9/86

Inhaltsverzeichnis | Seite

## 1. Einleitung

Mit diesem Heft aus der KDT-Reihe "Automatisierungstechnik" möchte sich der Autor hauptsächlich an Entwickler, Projektanten, Monteure, Inbetriebsetzer und Betreiber von Mikrorechner-Automatisierungsanlagen aber auch an Studenten und branchenfremde interessierte Leser wenden, um ihnen die im ersten Augenschein vielfach undurchsichtige Problematik der digital-seriellen Datenübertragung in solchen Anlagen verständlich aufbereitet, übersichtsmäßig und zusammenfassend darzustellen.

Dabei kann dieser Beitrag nur als eine knappe Einführung in das sich in den letzten Jahren zu einem eigenständigen Wissenschaftsgebiet etablierende Gebiet der Bussysteme und Lokalen Netzwerke aufgefaßt werden.

Aus diesem Grund wird auf ein umfangreiches Literaturverzeichnis verwiesen, mit dessen Hilfe sich der interessierte Leser noch weiterbilden kann.

Gerade die Vielzahl der in der letzten Zeit erschienenen Veröffentlichungen zu realisierten Bussystemen und Lokalen Netzwerken erschwert es Nichtspezialisten, sich einen Überblick zu verschaffen und sich das grundlegende Wissensgerüst anzueignen.

Mit diesem Heft sollen solche Bemühungen initiiert und unterstützt werden.

Es wird dabei immer versucht, praxisnahes anwendungsbreites Wissen zu vermitteln. Auf theoretische Ableitungen und Begründungen wird verzichtet.

Der Anschaulichkeit halber wird an einigen Stellen auf Darstellungen zurückgegriffen, die der Autor aus der einschlägigen Fachliteratur übernommen hat.

In diesem Beitrag wurde Wert darauf gelegt, den internationalen Stand der Standardisierung von digital-seriellen Datenübertragungssystemen unter Hinweis auf die entsprechenden Dokumente mit zu umreißen.

Die verwendeten Abkürzungen sind am Ende des Heftes erläutert.

## 2. Stellung und Bedeutung der seriellen Datenübertragung in Mikrorechner-Automatisierungsanlagen

Mikrorechner-Automatisierungsanlagen (MRAA) sind funktionell-gerätetechnisch dezentrale Verbundsysteme von räumlich verteilt angeordneten Rechnereinheiten im Echtzeitbetrieb zur Automatisierung von Fließ- und teilweise von Chargenprozessen. Sie wurden in der KDT-Heftreihe "Automatisierungstechnik" vorrangig am Beispiel des im VEB GRW Teltow produzierten Systems "audatec" beschrieben.

Dazu sei gleich hier am Anfang auf die Hefte 2, 8 und 11 A /1/ bis /3/ der genannten Reihe verwiesen.

Diese MRAA verarbeiten die Prozeß-, Bedien- und die systeminternen Informationen vorrangig zum Zweck der zuverlässigen Prozeßführung, -überwachung und -stabilisierung.

In wachsendem Maße werden die Automatisierungsfunktionen Prozeßbilanzierung und -optimierung in die Automatisierungsaufgabe der MRAA integriert.

Die überwiegend digitale Informationsverarbeitung, -übertragung und -speicherung in diesen Automatisierungsanlagen führen im Vergleich zu konventionellen Systemen zu neuen dezentralen Konzepten der Automatisierungssystemstruktur. In solchen Strukturen ist die busgebundene Datenübertragung bestimmendes Element. Das systemzentrale Datenübertragungssystem (im weiteren kurz als Bussystem bezeichnet) ermöglicht durch

- die Serialisierung der Datenübertragung,
- die von allen (oder einer Teilmenge aller) Rechnereinheiten gemeinsame Benutzung eines Datenübertragungsmediums (eben des Busses),
- den mehr oder weniger komfortablen und offenen (nachrüstbaren) Anschluß von Rechnereinheiten als Teilnehmer an den Bus,
- hohe Datenübertragungsgeschwindigkeiten (größer 250 KBit/s) und kurze Zugriffszeiten der Teilnehmer zum Bus,
- die mehr oder weniger komfortablen Möglichkeiten des Auf- und Abbaus von Datenverbindungen, entsprechend den logischen Kommunikationsbeziehungen, zwischen den in den verschiedenen Teilnehmern angeordneten Verarbeitungs- und Speicherprozessen, (Bild 2.1)
- die Schnittstellengestaltung zwischen den Nutzerprozessen und durch
- die hochzuverlässige und relativ preiswerte Überbrückung großer Entfernungen

eine ökonomische Realisierung von Datenübertragungen zwischen den verteilten Rechnereinheiten unterschiedlicher Automatisierungsfunktionen.

Im 5. Anstrich wurden die logischen Beschreibungselemente von Datenübertragungssystemen genannt.

Die in Recheneinheiten installierten Nutzerprozesse haben Kommunikationsbeziehungen untereinander, die der Systemgestalter und Softwareentwickler durch die Aufgabenverteilung auf die Nutzerprozesse festlegt.

Solche Nutzerprozesse sind z.B.

- Verarbeitungsprozesse (Verarbeitungsprogramme mit Zwischenspeicher),
- Speicherprozesse (Datenspeicherbereiche mit Zugriffs- und Organisationsprogrammen).

Betrachtet man nur die als Datenquelle und als Datensenke auftretenden Nutzerprozesse mit ihren busgebunden zu realisierenden gerichteten Kommunikationsbeziehungen, so ergibt sich die Kommunikationsstruktur.

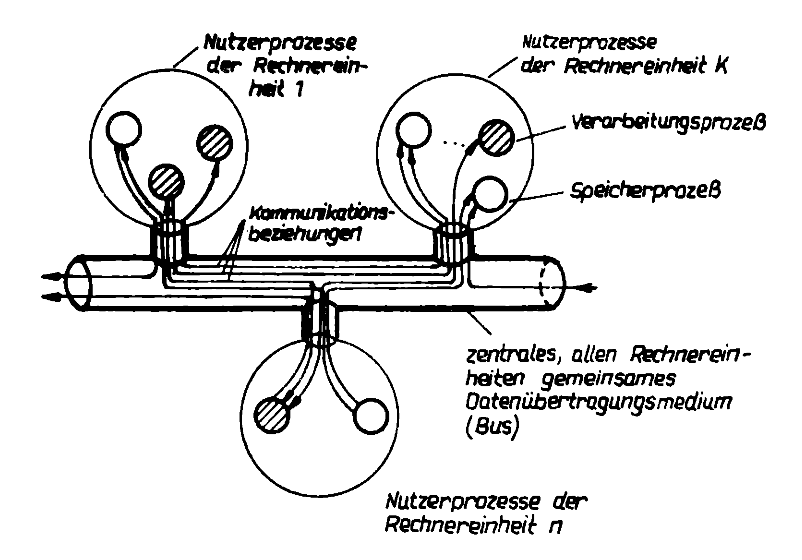



Bild 2.1: Realisierung der logischen Kommunikationsbeziehungen zwischen den auf verschiedenen Rechnereinheiten installierten Nutzerprozessen.

Diese logische Struktur der informationellen Kopplungen kann völlig losgelöst von der physischen Realisierung des Bussystems (Bild 2.1) betrachtet werden.

Bei MRAA o.g. Definition werden entsprechend der funktionellen Dezentralisation Rechnereinheiten mit speziellen Funktionsumfängen eingesetzt.

Rechnereinheiten mit gleichen Funktionsumfängen bilden funktionell-gerätetechnische Ebenen mit eigenen typischen Nutzerprozessen in den Anlagenstrukturkonzepten. Bei den heutigen Automatisierungssystemen sind im allgemeinen 3 verschiedene Ebenen üblich (Bild 2.2):

1. Prozeßnahe Informationsverarbeitungsebene
2. Prozeßleit- und Kommunikationsebene
3. Betriebsleit- und Managementebene

Diese Ebenen können in Zukunft zur Meß- und Stelltechnik hin noch durch eine feldbezogene Verarbeitungs- und Prozeßkoppelebene ergänzt werden (Ebene 0).

Zwischen diesen funktionell-gerätetechnischen Ebenen können folgende Datenübertragungsebenen unterschieden werden (Bild 2.2):

I    Feldbusebene
II   Rechnerverbundebene
III  Systemverbundebene.

Die Ebene I wurde mit Rücksicht auf zukünftige Entwicklungstrends hier mit aufgenommen.

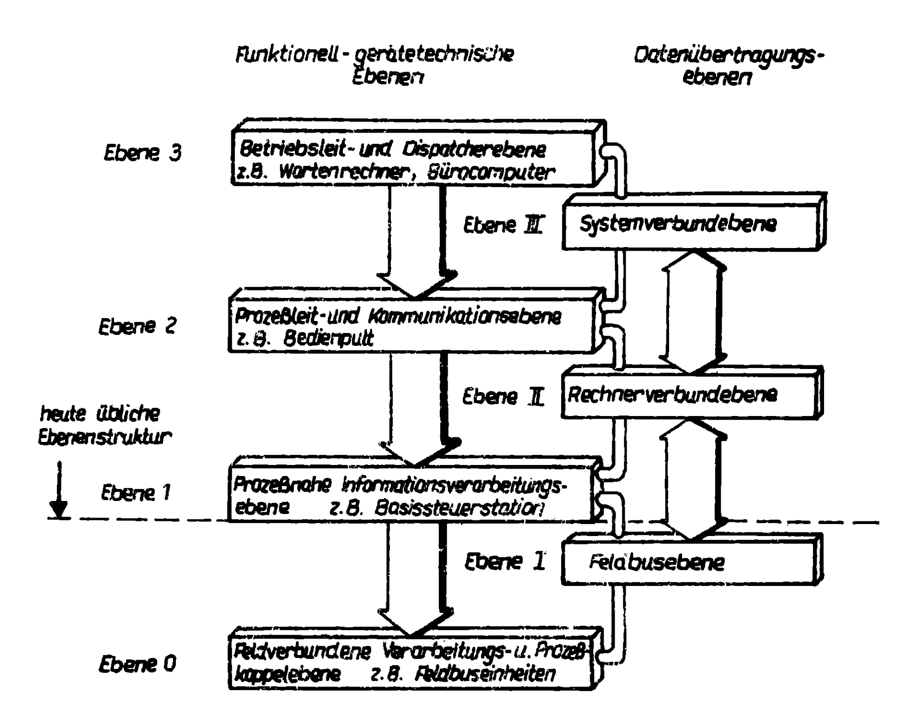



Bild 2.2: Funktionell-gerätetechnische Ebenengliederung von MRAA für den funktionell-gerätetechnischen und den Datenübertragungsteil.

In der Literatur und bei den verschiedenen Herstellern werden unterschiedliche Bezeichnungen für diese Ebenen gebraucht, ihr funktioneller Inhalt ist aber annähernd gleich.

Die Rechnereinheiten werden nun durch Datenübertragungssysteme verbunden, die ebenfalls eine hierarchische Struktur aufweisen können, aber nicht müssen (Bild 2.3). So kann man die Grenzfälle eines allumfassenden Globalbussystems auf der einen und eines pro Ebene autarken Bussystems, wobei die Systeme über Schnittstelleneinheiten (Gateways) miteinander verkoppelt sind, auf der anderen Seite unterscheiden.

Das Datenübertragungssystem in der MRAA audatec ist ein Beispiel für ein gekoppeltes hierarchisch strukturiertes Bussystem mit einer Schnittstelleneinheit zwischen zwei autarken, voneinander unabhängigen Einzelsystemen (Bild 2.4). Beide Einzelsysteme haben die gleichen Leistungsdaten (s. Pkt. 6.2), umfassen aber unterschiedliche Ebenen. Es wird zwischen dem Wartenrechnerbussystem (Systemverbundebene) und dem Anlagenbussystem (Rechnerverbundebene) unterschieden. Sie verbinden die funktionell-gerätetechnischen Ebenen 1 bis 3, wobei die Betriebsleit- und Dispatcherebene ihrem Inhalt nach einer Teilmenge möglicher Funktionen entspricht.

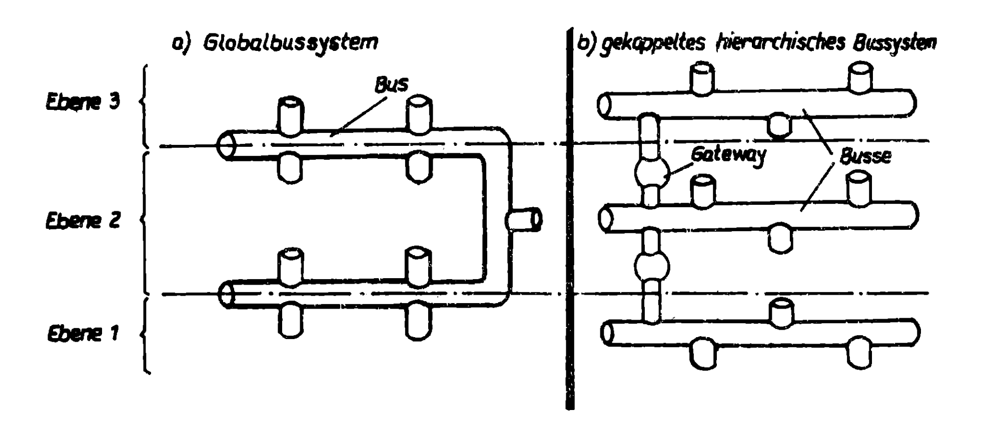



Bild 2.3: Realisierungsbeispiele für Bussysteme in hierarchisch gegliederten MRAA

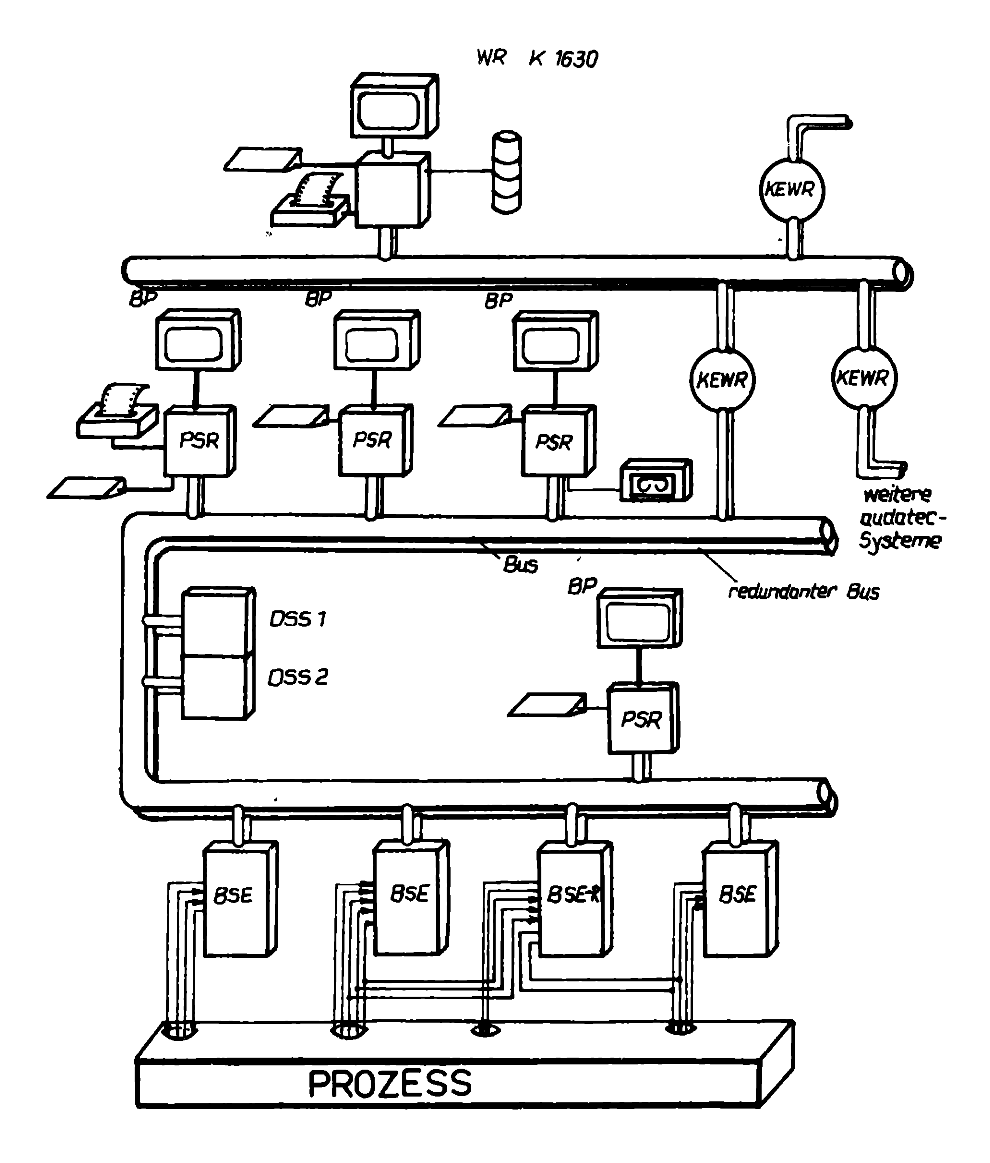



Bild 2.4: Anlagenstruktur des Systems audatec (Anlagenvariante Großverbundsystem)

| | | | |
|---|---|---|---|
| WR | Wartenrechner | DSS | Datenbahnsteuerstation |
| BP | Bedienpult | BSE | Basissteuereinheit |
| PSR | Pultsteuerrechner | BSE-R | Reserve-Basiseinheit |

Für die Auswahl der jeweiligen Busstrukturen sind natürlich die geforderten Übertragungsleistungen innerhalb der logischen Kommunikationsbeziehungen zwischen den Rechnereinheiten in und zwischen den verschiedenen Ebenen ausschlaggebend.

Übertragungsvorgänge mit hohen Echtzeitanforderungen, wie sie beispielsweise in Feldbussystemen der Ebene 0 (Bild 2.2) auftreten, wird man kaum über ein gemeinsames Bussystem zusammen mit der echtzeitunkritischen Übertragung von großen Datenmassiven in der Ebene 3 realisieren können.

Das spiegelt sich auch in der Größe des informationellen Kopplungsgrades $K_G$ wider, der gleich dem reziproken, auf 1s normierten Wert der maximal zulässigen Zeitdauer $T_v^{max}$ von Datenübertragungsvorgängen zwischen verschiedenen Nutzerprozessen unterschiedlicher Rechnereinheiten innerhalb der Kommunikationsbeziehungen ist:

$$K_G = \frac{1s}{T_v^{max}} \qquad (2.1)$$

Innerhalb und zwischen den Ebenen 1 und 3 liegt dieser Kopplungsgrad im allgemeinen im Bereich von 1 bis 10. Es kann in besonderen Fällen, z.B. bei der Prozeßalarmerfassung und zwischen den Ebenen 0 und 1 Werte von $10^2$ erreichen. (Dieser Kopplungsgrad ist vergleichsweise um $10^3$ ... $10^4$ geringer als der von Mehrprozessorsystemen in einer Recheneinheit).

Auf die Auswahl der entsprechenden Busstruktur haben allerdings auch noch weitere Kriterien (Redundanzforderungen, Forderungen bezüglich der Stromversorgung usw.) Einfluß, auf die an dieser Stelle nicht näher eingegangen werden soll.

Entscheidend ist die Feststellung, daß die digital-serielle Datenübertragung dezentrale MRAA überhaupt erst möglich macht, und daß sowohl die technische als auch die funktionell-strukturelle Gestaltung dieser Bussysteme von ganz besonderer Bedeutung für den Aufbau, den Funktionsumfang und die Leistungsparameter einer MRAA sind. Darum ist die Kenntnis der Wirkungsweise und der Gestaltungsprinzipien der Datenübertragungssysteme von großer Wichtigkeit.

Für die Entwicklung der MRAA hat die hard- und softwaremäßige Gestaltung der Schnittstelle zwischen den Nutzerprozessen und dem Datenübertragungssystem innerhalb der Recheneinheit wesentlichen Einfluß. Mit zunehmender Ausprägung und Transparenz dieser Schnittstelle (Bild 2.5) können sich nämlich sowohl die Nutzerprozesse als auch das Datenübertragungssystem verselbständigen, das heißt, sie können voneinander unabhängiger gestaltet werden.

Bisher sind die Datenübertragungssysteme in MRAA überwiegend als direkte Systembestandteile in das Automatisierungssystem integriert. Das heißt, die Automatisierungsfunktionen in Form von Verarbeitungsprogrammen wurden mit unterstützenden Funktionen (Datenübertragung als Systemdienst) in einer Einheit entworfen und entwickelt. Beide Seiten waren in bisherigen Systemen miteinander verknüpft. Bisher stellten also die Datenübertragungssysteme keine autarken Dienstsysteme dar.

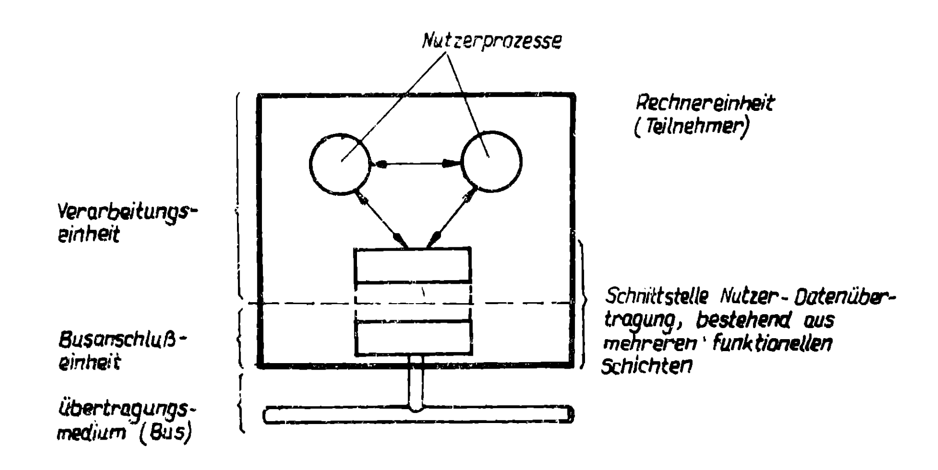



Bild 2.5: Schnittstelle Nutzerprozeß-Datenübertragung

Bei den Datenübertragungssystemen, die universelle Büro-, Personalcomputer, Datenterminals, Mini- und unter Umständen auch Großrechner untereinander verbinden und vorrangig für die Büroautomation eingesetzt werden, handelt es sich fast ausschließlich um autarke, zunehmend in großem Rahmen standardisierte Bussysteme -den sogenannten Lokalen Netzwerken (Local Area Network - LAN). Sie müssen natürlich im Vergleich zu Echtzeit-Automatisierungssystemen geringeren Verfügbarkeits- und Zeitanforderungen, aber höheren Forderungen bezüglich der Durchsatzleistung an Datenmassiven entsprechen.

Bei den Lokalen Netzwerken ist die Nutzer-Übertragungsschnittstelle nach einem einheitlichen Schichtenmodell gestaltet, auf die im Pkt. 4 eingegangen wird. Zukünftig muß die Stellung der Datenübertragungssysteme durch Implementation dieses einheitlichen Schichtenmodells der von Lokalen Netzen angeglichen werden.

Folgende Gründe zwingen zu dieser "Verselbständigung" der Datenübertragungssysteme in MRAA, für die es international schon viele Beispiele gibt:

- Erhöhung des Datendurchsatzes bei MRAA im Zuge des Überganges zur 16-Bit-Technik mit hohen Intern- und Externspeichermöglichkeiten (Erhöhung des direkten Adressenvolumens von 64 K Byte beim Prozessor U 880 auf 1 MByte beim K 1810 WM 86 und 8 MByte beim U 8000). Diese Speichermöglichkeiten ermöglichen neue Programmtechniken (Dateien, Datenbanken, Klartextspeicherung), die höhere Übertragungsleistungen voraussetzen.
- Trennung der Funktionen des Datenübertragungsdienstes von anderen Systemdienstfunktionen, die bisher durch die Datenübertragungsdienste mit realisiert worden sind.

  Solche Systemdienstfunktionen sind beispielsweise Überwachungs- und Diagnosefunktionen der einzelnen Rechnereinheiten der MRAA.

- Notwendigkeit der Öffnung von MRAA zum busseitigen Anschluß systemfremder Gerätetechnik, z.B. anderer MRAA, vorhandener Rechentechnik bei Rekonstruktionsvorhaben, Büro-, Personalcomputer, Wartenrechentechnik. Bisher waren die MRAA doch überwiegend auf den Anschluß systemeigener Technik orientiert. Aufgrund der Vielfalt der Automatisierungssysteme muß man von dieser Betrachtungsweise abrücken.
- Zunehmende Integration von Produktionsplanung, -lenkung und -automation erfordert zukünftig den Datenverbund zwischen Büro- und Prozeßdatenverarbeitung und damit die Kopplung von MRAA-Bussen und Lokalen Netzwerken der Büroautomation.
- Veränderung der Kommunikationsstruktur zur Leistungs- und Zuverlässigkeitserhöhung und Nutzung von Dezentralisation- und Topologieeffekten.
  Beispielsweise erfordert die Weiterentwicklung von MRAA die Erhöhung des Anteils an Kommunikationsbeziehungen zwischen Nutzerprozessen, die auf Rechnereinheiten innerhalb einer gerätetechnischen Ebene installiert sind. Dabei spricht man von der Erhöhung des Anteils des Horizontalverkehrs (in einer Ebene) im Vergleich zum Vertikalverkehr zwischen zwei benachbarten Ebenen. Das ist z.B. bei der Einführung der Datenübertragung zwischen den Basiseinheiten in der Ebene 1 der Fall.

Die internationalen Bemühungen zur Standardisierung von Entwurf und Realisierung von Übertragungssystemen für MRAA (Pkt. 5) machen die Notwendigkeit und Möglichkeiten für ihre Gestaltung als offene Dienstsysteme deutlich.

# 3. Strukturen und Funktionen der Bussysteme

## 3.1. Allgemeine Definition, Einordnung und Klassifizierung

Der Begriff Bussystem wird als Oberbegriff für Übertragungssysteme genutzt, die durch das Merkmal eines gemeinsamen physischen Übertragungsmediums zur Kopplung der Verarbeitungsprozesse gekennzeichnet sind.

Nach /6/ läßt sich bezüglich des Einsatzgebietes von Bussystemen folgende Einsatzhierarchie definieren:

| | |
|---|---|
| a) integrierter Bus | als Übertragungsmedium und -struktur in hochintegrierten Schaltkreisen (VLSI-Chips) für die interne Datenübertragung, |
| b) Leiterkarten-Bus | zur Datenübertragung zwischen integrierten Schaltkreisen auf einer Leiterkarte, |
| c) System-Bus | zur Datenübertragung zwischen mehreren Leiterkarten einer Systemfamilie (z.B. zwischen ZVE-Karten, Ein-/Ausgabekarten und Speicherkarten des Mikrorechnersystems K 1520), |

d) Peripherie-Bus — zur Datenübertragung zwischen Rechner und der dazugehörenden Datenverarbeitungsperipherie (Drucker, Magnetbandkasetteneinheit usw.),

e) Instrumentierungs-Bus — zur Datenübertragung zwischen Rechner und speziellen Meß-, Anzeige-, Registrier- und Bediengeräte in einer Laboreinrichtung,

und

f) Digital-serielle Datenübertragungssysteme (Bussysteme) zwischen Rechnern eines räumlich verteilten Rechnerverbundsystems.

In dieser Einsatzhierarchie finden zwei auf unterschiedlichen Übertragungsprinzipien basierende Bussysteme Anwendung:

. das Parallelbussystem (a bis e, teilweise d, e)

. das serielle Bussystem (d bis f).

Im Gegensatz zu den seriellen Bussystemen werden bei Parallelbussen die einzelnen Informationselemente (Bits) durch separate parallele physische Leitungen übertragen. Das erfordert eine hohe Synchronität der einzelnen elektrischen Zustände auf den parallelen Leitungen. Deshalb sind Parallelbussysteme durch eine geringere Ausdehnung (kleiner 1 m) als serielle Bussysteme gekennzeichnet. Sie lassen aber höhere Taktfrequenzen (Faktor $10^3$ im Vergleich zu seriellen Datenübertragungssystemen) zu.

Im Rahmen der Einsatzhierarchie c) System-Bus dienen Parallelbussysteme zur Übertragung in Einzelrechnersystemen gemäß Bild 3.1 nach /4/.

Peripherie- und Instrumentierungsbusse dienen dem Anschluß von Geräten der Datenverarbeitungsperipherie oder der Laborautomation im weitesten Sinne.
Ihnen können die sogenannten "Standardinterfaces" zugeordnet werden, sofern sie busfähig sind. Solche seriellen busfähigen genormten Interfaces sind z.B.

- IFSS (Interface Sternförmig Seriell)

- RS 485.

Zu den nichtbusfähigen Standardinterfaces zählen beispielsweise

- V24 (identisch mit RS 232 C für die physische Übertragung)

- V11 (identisch mit RS 422 A für die physische Übertragung).

Im weiteren wird nur auf die seriellen Bussysteme in Rechnerverbundsystemen eingegangen, denen entsprechend der Einsatzhierarchie f) hier der Oberbegriff Digital-serielles Datenübertragungssystem zugeordnet wird.
Unter Mehrrechnersystemen wird hier die problemangepaßte informationelle Kopplung von Einzelrechnern verstanden, für die die vielfältigstem Kopplungsvarianten vorhanden sind.

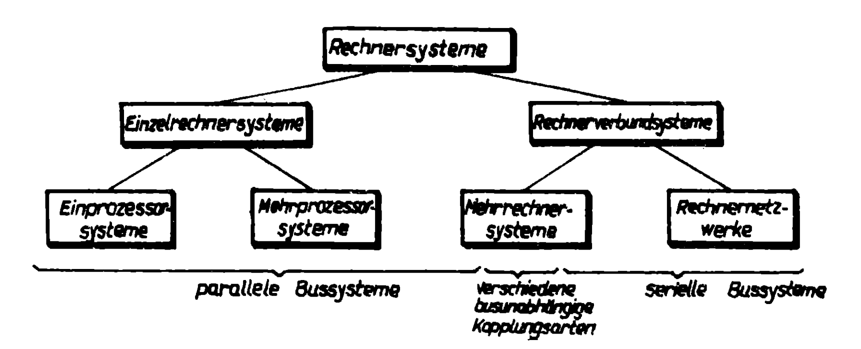



Bild 3.1: Einteilung der Rechnersysteme und Zuordnung der Bussystemtypen /4/

Neben Verbundschaltungen auf Busbasis gibt es Möglichkeiten der Speicher-, der E/A-Kanal-Kopplung (z.B. Kopplung von Master- und Slave-Rechner über PIO-Schnittstellen) und viele andere mehr.

Bei den Rechnernetzwerken im allgemeinen Sinn stehen die mehr für Dienste genutzten globalen informationellen Kopplungen, realisiert über serielle Bussysteme, im Vordergrund.

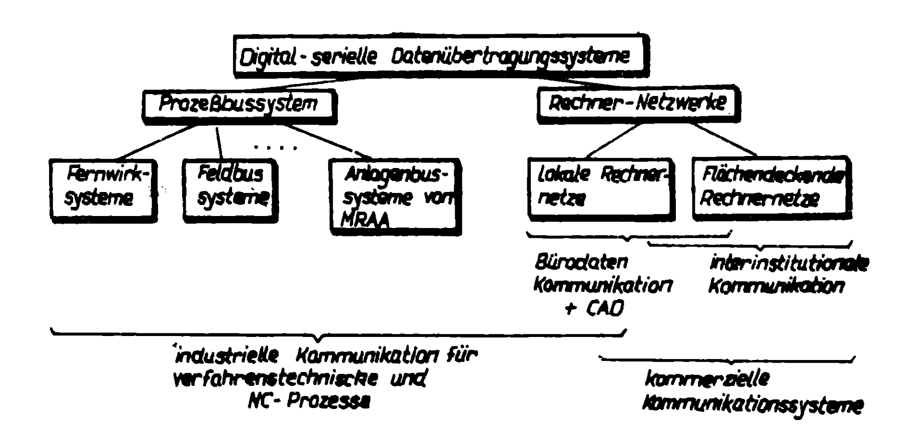



Bild 3.2: Übersicht digital-serieller Datenübertragungssysteme

Hier werden zu den Datenübertragungssystemen Prozeßbussysteme und Rechnernetzwerke gezählt. Prozeßbussysteme unterscheiden sich von Rechnernetzwerken aufgrund ihres Einsatzgebietes vor allem hinsichtlich der Echtzeit- und Zuverlässigkeitsforderungen. Diesbezüglich müssen Prozeßbussysteme wesentlich höheren Ansprüchen genügen als Rechnernetzwerke.

Der informationelle Kopplungsgrad nach Gleichung (2.1) als Ausdruck der Echtzeitforderung liegt im Vergleich zu den Netzwerken bei Prozeßbussystemen um ca. $10 \ldots 10^2$ höher.

Die Echtzeit- und Zuverlässigkeitsforderungen sind innerhalb der Prozeßbussysteme weiter nivelliert. Feldbussysteme zwischen Ebene 1 und Ebene 0 der funktionell-gerätetechnischen Ebenengliederung einer MRAA (Bild 2.2) müssen diesbezüglich die höchsten Forderungen erfüllen. Bei Fernwirksystemen sind die Echtzeitforderungen i.allg. geringer.

Diese Fernwirksysteme waren bereits Bestandteil konventioneller Automatisierungsanlagenstrukturen. Sie sind im Zuge der Einführung der Mikrorechentechnik nach den Prinzipien der digital-seriellen Datenübertragung weiterentwickelt worden.

Sie dienen allerdings mehr der direkten Übertragung von Stell- und Steuerbefehlen relativ autonomer Einheiten über große Entfernungen und sind nicht vorrangig auf reine Datenübertragung im Sinne von Meßwerten oder verdichteten Prozeßwerten und Dateien ausgerichtet. Diese Unterschiede drücken sich auch in den Parameterunterschieden aus ( s. Tafel 3.1).

Die Anlagenbusse finden wir hauptsächlich zwischen Ebene 1 und 2 in MRAA (Bild 2), teilweise realisieren sie aber auch Verbundfunktionen der Übertragungsebene II (Systemverbund).

Den Echtzeit-Prozeßbussystemen stehen die Lokalen Rechnernetze für nicht Echtzeit-gebundenen Betrieb nahe, die im Zuge der Büroautomation u.a. den Datenverbund als sogenannte "inhouse-Systeme" realisieren.

Vielfach werden in der Literatur zu Lokalen Rechnernetzen auch Prozeßbussysteme gezählt. Hier soll das eindeutig getrennt werden.

Die Flächendeckenden Rechnernetze dienen zur datenmäßigen Verkopplung von geografisch verteilten EDVA. Sie haben nationale und kontinentale Ausdehnungen und werden durch die unterschiedlichsten Übertragungsmedien gestützt (z.B. Nachrichtensatellitenstrecken). Sie beeinflußten wesentlich die Entwicklung der Lokalen Rechnernetze.

Struktur und Aufbauprinzipien von Lokalen und Flächendeckenden Rechnernetze werden zunehmend für

- nichtöffentliche Nachrichtennetze und
- öffentliche Nachrichtennetze

angewandt.

Eine besondere Stellung nehmen bei den nichtöffentlichen Nachrichtennetzen z.B. die digitalen Nebenstellenanlagen ein. Sie können in Zukunft der Integration der verschiedenen Telekommunikationsdienste (beispielsweise Bild-, Text-, Sprach-, Nachrichtenübertragung) dienen und den Zugang zu flächendeckenden einheitlichen dienstintegrierten Datennetzen (ISDN) bilden /44/.

| Kenngröße | Fernwirksystem | Feldbussystem | Anlagenbussystem | lokales Rechnernetz | Flächendeckendes Rechnernetz |
|---|---|---|---|---|---|
| max. Ausdehnung [km] | 10 (bei Spezialfällen mehr) | 5 | 3...5 | $10^{-2}$...10 | kontinental |
| max. Teilnehmerzahl | 100...250 | 100...250 | 100 | 1000 | 100 |
| max. Datenrate [kbd] | 0,1...0,2 | 60...250 | 2000 | $10^5$ $10^7$ | $10^5$ |
| Reaktionszeitniveau [ms] | 100 | 20...100 | 20...500 | 100...$10^3$ | $10^3$...$10^4$ |
| Übertragungsmedium | Fernsprech-/schreibkanal<br>Funk / Richtfunk<br>Zwei-/ Vierdrahtleitung<br>Lichtleiter | | Koaxkabel, Lichtleiter verdrillte Leitungen | | Post-, Fernmeldeleitungen<br>Funk / Richtfunk |
| vorherrschende Systemstruktur (Punkt 3.3) | Stern, Punkt-Punkt | Linie, Ring, Stern | Linie | Linie, Ring, Netz | alle |
| vorherrschende Zugriffssteuerverfahren (Pkt.3.4.9) | festes Master-Slave | POLLING festes Master-Slave | POLLING TOKEN | CSMA/CD TOKEN ringtypische | CSMA-Varianten |

Tafel 3.1 : Vergleich der Kennwerte für Digital-Serielle Datenübertragungssysteme

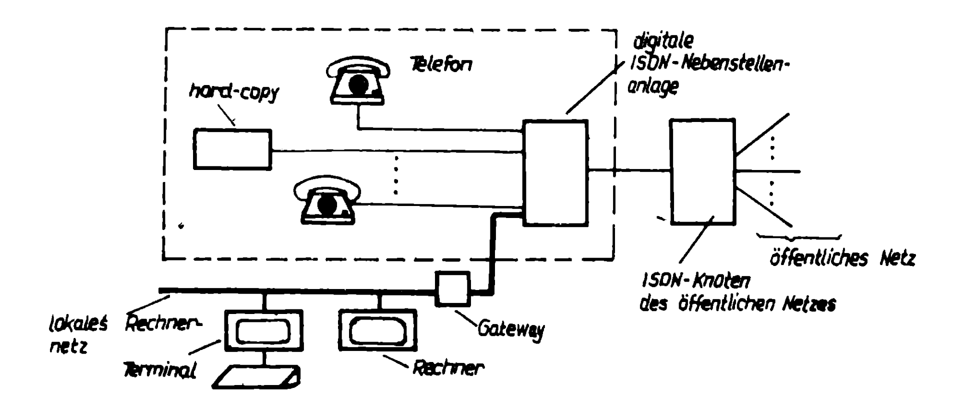



Bild 3.3: Struktur einer digitalen Nebenstellenanlage eines dienstintegrierten Systems

Durch die verschiedensten Kopplungsmöglichkeiten der Prozeßbussysteme, LAN, Flächendeckenden Rechnernetze, digitalen Nebenstellenanlagen, Fernmeldenetze unter- und miteinander (z.B. Kopplung zweier inhouse-LAN über eine gemietete Standleitung des Fernmeldenetzes) wird der allgemeine Datenverbund vorangetrieben. Sie erfordern aber ebenso eine Vereinheitlichung der Schnittstellen.

## 3.2. Gerätetechnische Grundstruktur eines Bussystems

### 3.2.1. Grundelemente eines Bussystems

Bussysteme bestehen aus den Übertragungsmedium einschließlich der mechanischen Koppelmöglichkeiten und den angeschlossenen Busteilnehmern. Die Busteilnehmer lassen sich hinsichtlich ihrer Funktionen im Bussystem in verschiedene Typen gliedern:

a) Busteilnehmer für die Buszugriffssteuerung bei gerätetechnisch autonom realisierter zentraler Zugriffssteuerfunktion (Bussteuereinheit oder Datenbahnsteuerstation),

b) Busteilnehmer für die Kopplung verschiedener Teile e i n e s Bussystems zur Strukturierung und Erhöhung der Übertragungslänge durch Verstärkung
(Buskoppler, Busumsetzer, Repeater),

c) Busteilnehmer für die Kopplung u n t e r s c h i e d l i c h e r Bussysteme
(Gateways, Koppeleinheit),

d) Busteilnehmer auf denen die Verarbeitungsprozesse installiert sind.

Die Teilnehmertypen a - c realisieren vorrangig Dienstfunktionen des Bussystems. Auf ihnen können zwar ebenfalls Verarbeitungsprozesse installiert sein (z. B. Alarmerfassung in der Bussteuereinheit, selektive automatische Datenabfrage durch die Koppeleinheit); sie besitzen aber untergeordnete Bedeutung.

Die eigentlich datenübertragungsführenden Teilnehmer sind die, auf denen die Verarbeitungsprozesse zur Realisierung der Automatisierungsfunktionen installiert sind.

### 3.2.2. Übertragungsmedien

Als Übertragungsmedien für Prozeßbussysteme werden hauptsächlich verwendet:

- verdrillte Leitungen, zwei-, mehradrig (twisted pair)
- Koaxialkabel
- Lichtleiter.

Die Tafel 3.2 zeigt einen Vergleich ihrer Kenngrößen

| Kenngröße | verdrillte Leitung | Koaxialkabel | Lichtleiter |
|---|---|---|---|
| Entfernung | gering | mittel | hoch |
| Masse | gering | mittel | gering |
| Verlegbarkeit | leicht | schwierig | kompliziert |
| galvan. Trennung durch Medium | nein | nein | ja |
| Störempfindlichkeit | hoch | gering | sehr gering |
| Dämpfung | hoch | mittel | gering |
| Brandbreite (Übertragungsrate) | niedrig | mittel | sehr hoch |
| Kosten | niedrig | mittel | sehr hoch |

Tafel 3.2: Verbaler Kenngrößenvergleich zwischen Übertragungsmedien für Anlagenbussysteme

Heute kommt dem Koaxialkabel noch die größte Bedeutung zu, da das Verhältnis von Preis zu Übertragungsentfernung, -rate und -sicherheit für Anwendungen im prozeßnahen Bereich von Automatisierungsanlagen durch die geschirmte Übertragungsweise noch günstig ist.

Verdrillte Leitungen sind wesentlich billiger als Koaxialkabel, ihre Störsicherheit ist aber trotz der Gleichtaktunterdrückung durch die Verdrillung nicht so sicher. Durch die Erhöhung des hard- oder firmwaremäßigen Sicherungsaufwandes der Datenübertragung stellen verdrillte Leitungen zukünftig eine preisgünstige Alternative dar.

Auch Lichtleiter finden zunehmend Anwendung in Prozeßbussystemen. Sie sind völlig störfrei gegenüber kapazitiven und induktiven Einkopplungen z.B. in der Nähe von großen elektrischen Stellantrieben oder Generatoren im Kraftwerk oder in Fertigungsstraßen. Sie übertragen keine elektrische Energie. Das ist wichtig für die Realisierung der Eigensicherheit von Systemen in Ex-gefährdeten Bereichen.

Die maximal erreichbaren Übertragungsfrequenzen bei Lichtleiter liegen im GHz-Bereich, während mit Basisband-Koaxialkabel maximale Frequenzen von 10 ... 150 MHz erreichbar sind.

Allerdings gibt es bei der Realisierung von Busstrukturen mit Lichtleitungen noch einige unbefriedigend gelöste Probleme, die im Zusammenhang mit der zu großen Auskopplung der Lichtenergie bei Verzweigungen über Teilnehmerankopplung und Sternkopplung stehen.

Lichtleiter werden deshalb heute vorrangig in Form von Punkt-Punkt-Verbindungen in Koaxialkabel-Bussystemen zur Überwindung besonders störungsintensiver Abschnitte im Prozeßbereich eingesetzt.

### 3.2.3. Grundstruktur eines Busteilnehmers

Ein Busteilnehmer besteht aus einem busabhängigen und einem busunabhängigen Teil (Bild 3.4).

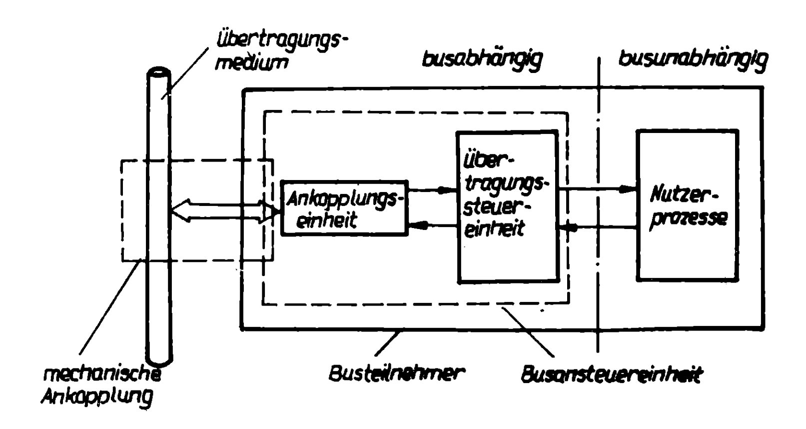



Bild 3.4: Grundstruktur eines Busteilnehmers

Im busunabhängigen Teil (Rechnerkern) sind die Verarbeitungsprozesse lokalisiert. Der busabhängige Teil enthält in der Bussteuereinheit die Ankopplungseinheit und die Übertragungssteuereinheit.

Die Ankopplungseinheit realisiert die elektrische Anpassung des Teilnehmers an das entsprechende Übertragungsmedium. Sie umfaßt die funktionellen Teile

- Datensender/Datenempfänger
- Modulator/Demodulator (abhängig vom Übertragungsverfahren)
- physikalische Anpassung.

Die Übertragungssteuereinheit realisiert die Aufbereitung der zu übertragenden Daten (Telegramm/Block) und die notwendigen Steuerungsabläufe zur seriellen Datenübertragung zwischen zwei Busteilnehmern (Aufruf-Antwort-Sequenzen). Sie stellt damit funktionell die logische Schnittstelle zwischen den Nutzerprozessen und den Übertragungsprozessen dar.

### 3.2.4. Physikalische Anpassung

Die physikalische Anpassung dient der unmittelbaren Ein- und Auskopplung der u.U. modulierten Bussignale vom Übertragungsmedium unter Berücksichtigung seiner speziellen Eigenschaften.

Bei der Nutzung elektrischer Übertragungsmedien (Koaxialkabel, verdrillte Leitungen) können allgemein die

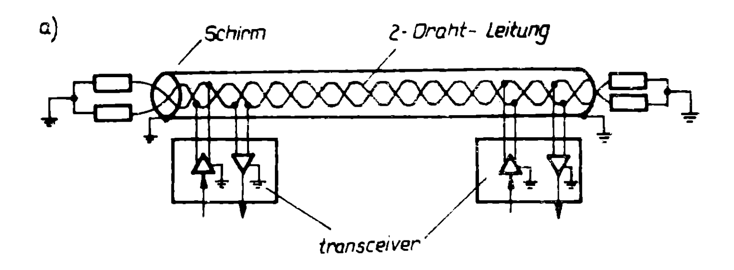
- galvanische und die
- induktive

Kopplung unterschieden werden (Bild 3.5). Eine kapazitive Kopplungsart hat sich bei Prozeßbussystemen nicht durchgesetzt, am weitesten verbreitet sind induktive (transformatorische) Kopplungen.

Die Vorteile der galvanischen Kopplungsmethode sind in dem direkten Kopplungsverfahren, im einfachen Aufbau bei gleichzeitiger Toleranz gegenüber Störungen zu sehen. Solche Störungen sind externe induktive Einkopplungen, Übersprechen und Potentialunterschiede zwischen den Teilnehmern.

Die Störungstoleranz wird dann erreicht, wenn z.B. Spannungsdifferenz- oder Stromausgänge bei den verdrillten symmetrischen Leitungen realisiert werden. Dazu dienen spezielle Sender-/Empfängerschaltkreise, sogenannte Transceiver. Eine solche Anpassung wird beispielsweise bei dem busfähigen Interfacestandard RS 485 (2-Draht, verdrillt, symmetrisch) verwendet. Als Transceiver-Bausteine können DS 3695 oder 3696 der Firma National Semiconductors (USA) eingesetzt werden /14/.
Nachteil der direkten Kopplung ist die notwendige Potentialtrennung zwischen Teilnehmer und Übertragungsmedium durch einen zusätzlichen Aufwand in Form von Optokopplern.

Die induktive Kopplung gewährleistet Rückwirkungsfreiheit und einen leistungsarmen Betrieb. Damit können eine hohe Zuverlässigkeit und hohe Teilnehmerzahlen am Bus erreicht werden.



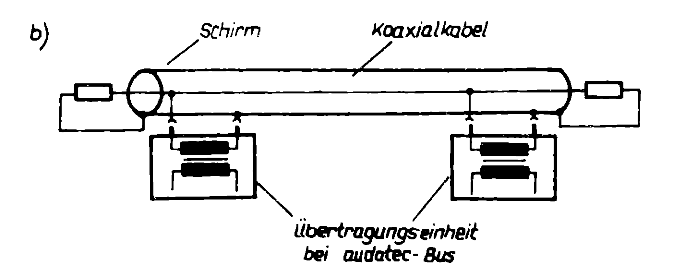




Bild 3.5: Kopplungsarten bei Bussystemen

a) galvanische Kopplung (z.B. RS 485) mit differentiellem Spannungsausgang

b) induktive Kopplung beim audatec-Bussystem

Hohe Potentialunterschiede zwischen Teilnehmer und Übertragungsmedium werden toleriert, da keine Gleichspannung übertragen werden kann. Die verwendeten Übertragungscodes müssen allerdings gleichstromfrei sein.
Bei den überwiegend zur Anwendung kommenden Linienstrukturen der Übertragungsmedien werden die von Teilnehmern eingekoppelten Signale nach allen beiden Seiten hin (bidirektional) gleichzeitig übertragen. Sie stehen allen Teilnehmern mit der ihrer Entfernung zum Sender proportionalen Signallaufzeit zur Verfügung. Die Endpunkte der Linien sind als Signalsenken realisiert, z. B. durch reflexionsfreie Abschlußwiderstände bei Koaxialkabelbussen.

## 3.3. Bussystemstrukturen

### 3.3.1. Grundstrukturen

Wesentlicher Einsatzgesichtspunkt von Prozeßbussystemen ist die räumliche Datenkopplung verteiler Rechnereinheiten. Aus dieser topologischen Sicht und unter funktionellen Aspekten lassen sich folgende physischen Grundstrukturen unterscheiden /7/, /8/ (Bild 3.6):

- Linienstruktur
- Ringstruktur
- Sternstruktur
- Netzstruktur
- streckengetrennte Ringstruktur

Das Gemeinsame der Linien- und der Ringstruktur ist, daß die Teilnehmer alle an einem gemeinsamen Übertragungsmedium angeschlossen sind. Man spricht deshalb gemäß der Definition auch von Linien- und Ringbussystemen. Da eine von einem Teilnehmer gesendete Nachricht auf dem gesamten Bus anliegt, muß der Zugriff der Teilnehmer zum Bus koordiniert werden. Diese Zugriffssteuerfunktion wird durch einen speziellen Teilnehmer (zentral) oder durch alle Teilnehmer (dezentral) ausgeführt. Am häufigsten wird in MRAA die Linienstruktur angewendet.

Während die Linie und der Ring reine Busstrukturen darstellen, handelt es sich bei Stern, Netz und streckengetrenntem Ring um aus Punkt-Punkt-Verbindungen zusammengesetzte Strukturen.

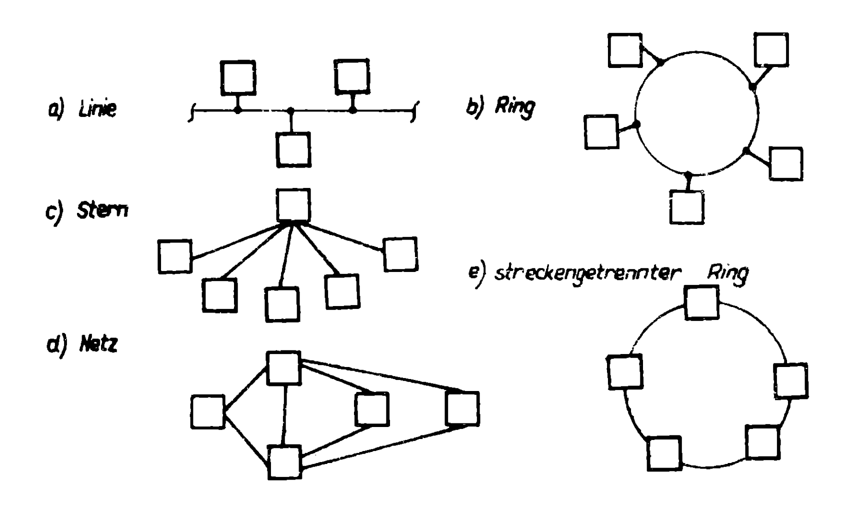



Bild 3.6: Grundstrukturen von Bussystemen

Bei der Sternstruktur ist jeder Teilnehmer durch eine separate Leitung an eine Zentrale angeschlossen, die ebenfalls den Zugriff der Teilnehmer zum Bus steuert.

Bei einer vernetzten Struktur sind die Teilnehmer durch Punkt-Punkt-Verbindungen miteinander verbunden, wobei im Extremfall jeder Teilnehmer mit jedem verbunden ist.
Bei einer solchen Struktur können Ausfälle von Punkt-Punkt-Verbindungen und Teilnehmern toleriert werden, d.h. es kommt nicht zum Systemausfall, wie bei nichtredundanten Linien- oder Ringanordnungen. Der Installationsaufwand und die Übertragungssteuerung eines solchen Netzes sind aber sehr aufwendig. Deshalb findet diese Strukturform nur bei Rechnernetzwerken Anwendung.
Der streckengetrennte Ring ermöglicht im Gegensatz zum Ring bei N Teilnehmern die simultane Übertragung auf den N-1 getrennten Strecken. Die Gesamtzuverlässigkeit der Struktur hängt allerdings von den einzelnen Teilnehmern ab.
Diese Struktur wird vorwiegend bei Lichtleitersystem zugrunde gelegt.

### 3.3.2. Strukturverbände

Bereits im Punkt 2. wurde auf die Kopplungsmöglichkeiten von Bussystemen durch die funktionell-gerätetechnische Ebenengliederung hingewiesen. (Bilder 2.2, 2.3).

Hauptsächlich treten bei Bussystemen in MRAA die in Bild 3.7. angegebenen Strukturverbände auf. Daneben gibt es noch weitere Kombinationen. Zur Kopplung von gleichartigen Linienstrukturen werden Busteilnehmer vom Typ b (Punkt 3.2.1.) also Buskoppler, -umsetzer oder sogenannte Repeater, zur Kopplung von unterschiedlichen Linienstrukturen Busteilnehmer vom Typ c, also Koppeleinheiten und Gateays eingesetzt.

Zu diesen Strukturverbänden können Nahbereichs-/Fernbereichsverbände (z.B. Teleperm M) oder hierarchische Linienkopplungen (z.B. audatec: Anlagenbus/übergeordnetes Wartenrechnerbussystem, TDC 3000: Data Hiway/LCN, s. Pkt. 6.1) bei unterschiedlichen Bussystemen und sogenannte segmentierte Strukturen (z.B. Ethernet-System) bei einheitlichen Bussen gewählt werden.
Beispiel für eine Sternkopplung von Linienstrukturen ist TDC 2000 - Data Hiway, wo an eine zentrale Bussteuereinheit maximal 3 verschiedene Linien angeschlossen werden können.
Stellvertretend für die Linienkopplung von Sternstrukturen kann das FOXNET-System (Foxboro /57/) genannt werden.

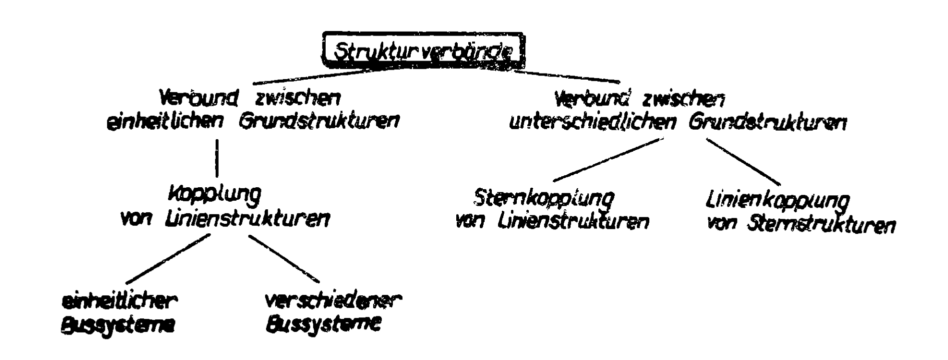



Bild 3.7: Strukturverbände

## 3.4. Grundfunktionen der seriellen Datenübertragung

### 3.4.1. Übersicht

Folgende Grundfunktionen der seriellen Datenübertragung können für Bussysteme allgemein definiert werden (Bild 3.8):

a) Übertragungssignal aufbereiten
b) Kodieren
c) Synchronisieren
d) Serialisieren
e) Sichern gegen Fehler
f) Übertragung steuern
g) Zugriff steuern

Diese Grundfunktionen werden abhängig vom entsprechenden Bussystem durch hard- oder software realisiert. Bei bisherigen MRAA sind bis einschließlich Funktion e) die Grundfunktionen hardwaremäßig implementiert. Das wird durch die Verwendung spezieller Schaltkreise (z.B. U 858-DMA und U 856-SIO der Steuereinheit des audatec-Bussystems /9/, /10/) möglich. Zukünftig werden auch die Funktionen f bis h durch Einsatz von Prozessoren mit zugeordneten Speichern auf den somit intelligenten Steuereinheiten und weiter durch bussystemspezifisch entwickelte Protokollschaltkreise firmware- bzw. dann hardwaremäßig realisiert. Die Grundfunktionen lassen sich in ein allgemeines Ebenenmodell der Datenübertragung einordnen, auf das im Punkt 4. eingegangen wird.

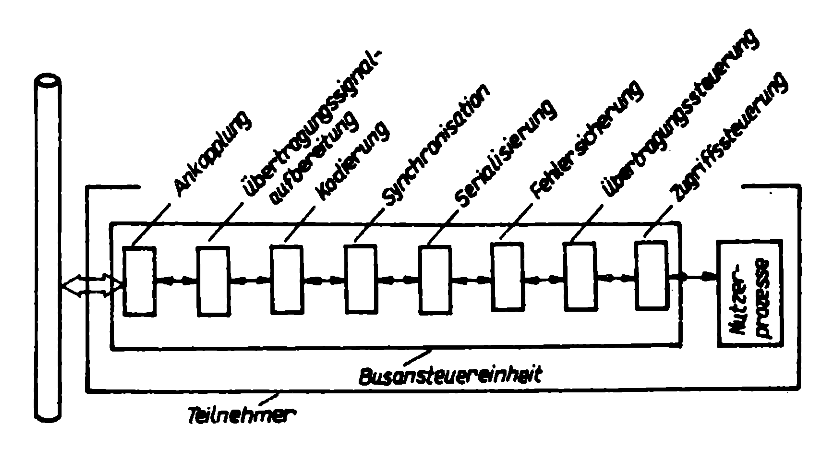



Bild 3.8: Grundfunktionen der seriellen Datenübertragung

Im folgenden sollen diese Grundfunktionen kurz erläutert werden. Detailliertere Aussagen sind in /6/ zu finden.

### 3.4.2. Aufbereitung des Übertragungssignals

Bei der Aufbereitung des Übertragungssignals werden zwei Verfahren unterschieden (Bild 3.4):

- Basisbandübertragung
- modulierte Übertragung

Bei der Basisbandübertragung werden die in digitaler serialisierter Form vorliegenden Signale als Folge von Rechteckimpulsen übertragen. Damit ergibt sich ein weites Frequenzband, beginnend bei Null, mit hohen Frequenzanteilen durch die Impulsflanken. Durch dieses hohe Frequenzspektrum kann nur ein Übertragungskanal auf der Leitung realisiert werden, außerdem werden bei großen Datenraten hohe technische Anforderungen an das Übertragungsmedium und die Ankopplungseinheit gestellt.

Um mehrere Übertragungskanäle auf einer Leitung zu realisieren, um die technischen Anforderungen bei höheren Datenraten in Grenzen zu halten und/oder eine höhere Übertragungszuverlässigkeit zu erreichen, werden die in Form von Basisbandsignalen vorliegenden Signale auf einen hochfrequenten Signalträger aufmoduliert. Diese Modulation von Rechteckimpulssignalen wird als binäre Modulation oder Umtastung bezeichnet.

Entsprechend dem Informationsparameter können unterschieden werden:

- binäre Amplitudenmodulation (Amplitude Shift Keying, ASK)
- binäre Frequenzmodulation (Frequency Shift Keying, FSK)
- binäre Phasenmodulation (Phase Shift Keying, PSK)

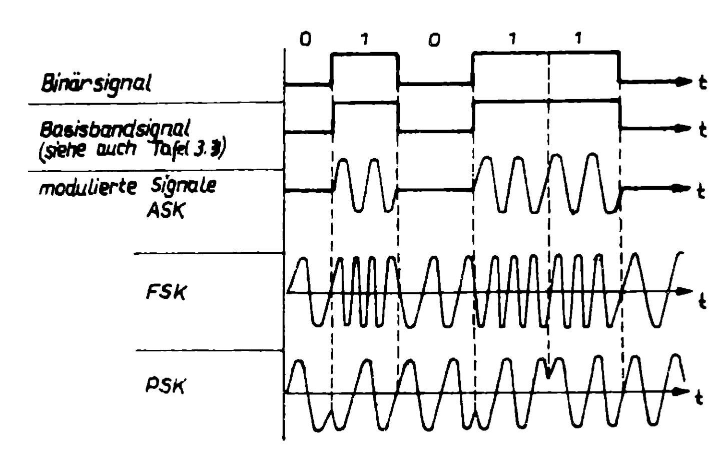



Bild 3.9: Basisband- und modulierte Übertragungssignale

Daneben gibt es noch weitere modifizierte Modulationsverfahren, z.B. Phasendifferenzmodulation, Quadraturamplitudenmodulation /11/.
Bei dem ASK-Modulationsverfahren werden die binären 0 - und 1 -Zustände durch die Zustände "Trägerfrequenz da" oder "Trägerfrequenz nicht da" bzw. durch zwei verschiedene Amplituden einer Trägerfrequenz, beim FSK durch zwei Trägerfrequenzen $f_1$ und $f_2$ und beim PSK durch einen Phasensprung vor dem folgenden 1-Zustand codiert. Aufgrund der Beschränkung auf ein oder zwei Trägerfrequenzen pro Kanal können mehrere Übertragungskanäle realisiert werden. Bei dieser Breitbandübertragung wird die zulässige Bandbreite des Übertragungsmediums in einander nicht überlappende Frequenzbänder aufgeteilt. Der technische Aufwand bei Breitbandsystemen ist im Vergleich zu Basisbandsystemen wesentlich höher.

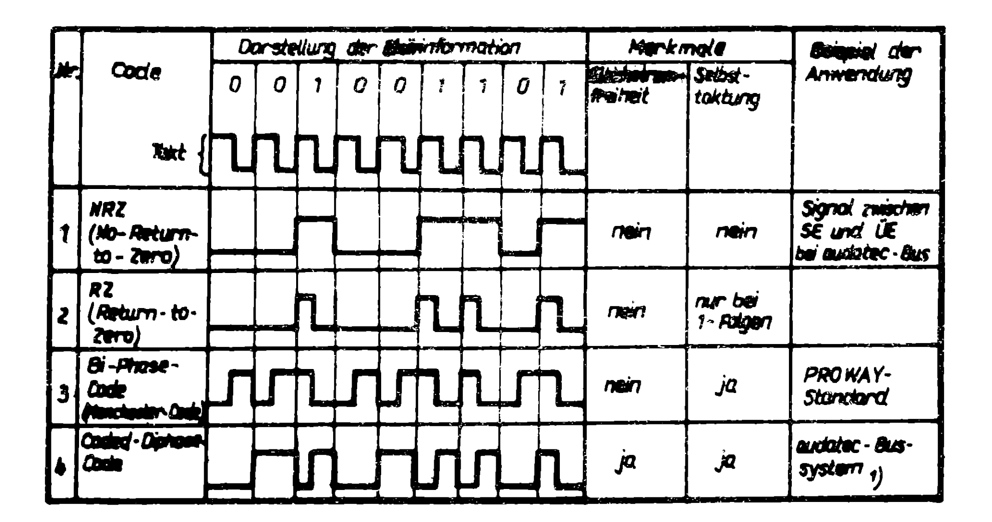
Die Modulation beim Sender und Demodulation beim Empfänger in einem Teilnehmer wird durch sogenannte MODEM's übernommen.

Die FSK-Modulation wird beim PROWAY-Bus (Punkt 5.3.) angewendet. Der High-Zustand wird mit 6,25 MHz, der Low-Zustand mit 3,75 MHz moduliert.

### 3.4.3. Signalcodierung

Die im Basisband- oder im modulierten Verfahren übertragenen Signale werden ausgehend von der serialisierten binären Signalfolge zuvor codiert, d.h. in spezielle elektrische Signalformen (Codes) umgewandelt. Diese Codes können nach verschiedenen Gesichtspunkten unterteilt werden, z.B. bezüglich der

- Gleichstromfreiheit durch symmetrischen Polaritätswechsel (gefordert bei galvanisch entkoppeltem Anschluß an das Übertragungsmedium),
- Selbsttaktung zur datengebundenen Übertragung der Taktinformationen (Empfänger kann Takt und Daten zurückgewinnen).



| Nr. | Code | Darstellung der Bitinformation<br>0 0 1 0 0 1 1 0 1 | Merkmale: Gleichstromfreiheit | Merkmale: Selbsttaktung | Beispiel der Anwendung |
|---|---|---|---|---|---|
| | Takt | | | | |
| 1 | NRZ (No-Return-to-Zero) | | nein | nein | Signal zwischen SE und ÜE bei audatec-Bus |
| 2 | RZ (Return-to-Zero) | | nein | nur bei 1-Folgen | |
| 3 | Bi-Phase-Code (Manchester-Code) | | nein | ja | PROWAY-Standard |
| 4 | Coded-Diphase-Code | | ja | ja | audatec-Bus-system [1] |

[1] auch als Biphasensignal mit Differenzcodierung bezeichnet

Tafel 3.3: Darstellung einiger Übertragungscodes

In der Tafel 3.3 sind die wichtigsten Übertragungscodes angegeben /6/, /12/, /15/.

Der NRZ-Code entspricht der üblichen Codierung von Binärsignalen.
Beim RZ wird die logische "1" mit einem Impuls halber Schrittbreite dargestellt.
Der Bi-Phase-Code, auch Manchester-Code genannt, stellt einen selbstgetakteten RZ-Code dar.

Beim Coded-Diphase-Code entspricht dem logischen "0" die entgegengesetzte Phase in bezug auf das vorhergehende logische Datenelement. Der logischen "1" entspricht die gleiche Phasenlage bezüglich des vorhergehenden Elements.

Diese Codierungsart wird beim audatec-Bussystem gemäß der Empfehlung V.1 des CCITT angewendet.

### 3.4.4. Synchronisation

#### a) Teilnehmersynchronisation

Der Empfänger muß aus der empfangenen Rechteckimpulsfolge im Basisband die entsprechende Bitfolge rekonstruieren.

Dazu muß der Empfänger ein sogenanntes Gültigkeitssignal zur Bestimmung eines Datensignals bekommen. Dieses Gültigkeitssignal wird aus dem Takt abgeleitet.

Die Taktübertragung kann mit folgenden Verfahren erfolgen /6/:

1. Getrennte Daten- und Taktleitung (Synchrone Übertragung),
2. Getrennte Taktquellen bei Sender und Empfänger, Synchronisation durch Startbits (Asynchrone Übertragung),
3. Mischung von Daten- und Taktsignal, Taktrückgewinnung aus den selbsttaktenden Codes (Synchrone Übertragung).

Die Verwendung getrennter Daten- und Taktleitungen ist, abhängig von der Übertragungsgeschwindigkeit, nur bis zu einer begrenzten Übertragungsentfernung möglich (ca. 100 m bei 500 kBaud). Sie ist deshalb bei Bussystemen von MRAA höchstens bei Nahbusstrukturen zu finden.
Die Synchronisation durch Startbits bei getrennten, annähernd mit der gleichen Frequenz arbeitenden Taktquellen bei Sender und Empfänger wird bei den asynchronen Verfahren angewendet.

Bei den zeichenorientierten Übertragungsprozeduren (oder Protokollen) werden die asynchronen Verfahren eingesetzt. Beispielsweise basiert die UART-Schnittstelle eines Einchip-Mikrorechners (U 881/882) auf einem solchen Synchronisationsverfahren.
Bild 3.10 zeigt ein asynchrones Übertragungsformat zur zeichenweisen Übertragung. Sie finden Einsatz u.a. bei Fernwirk-, Feldbussystemen, als universelle Standardschnittstellen für Peripheriegeräte im weitesten Sinne.

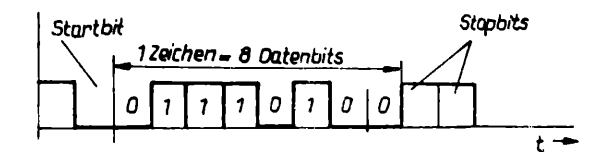



Bild 3.10: Asynchrones Übertragungsformat zur zeichenweisen Übertragung

Bei einem solchen asynchronen Verfahren kann der Empfänger zu einem beliebigen Zeitpunkt zugeschaltet werden, was von großem Vorteil ist. Nachteilig ist allerdings das große overhead an Organisationszeit durch die 3 Steuerbits je 8 Datenbits.

Durch die Verwendung selbsttaktender Codes, wie des Manchester-Codes bei den synchronen Verfahren kann zwar auf separate Taktleitungen und spezielle Steuerbits verzichtet werden, das erforderliche Frequenzspektrum des Mediums ist wegen der Zustandswechsel innerhalb der Datenbits aber groß.

Letzteres Verfahren ist bei Anlagenbussystemen am weitesten verbreitet.

b) Blocksynchronisation

Bei der seriellen Datenübertragung werden die Zeichen oder 8 Bit-Worte zu Datenblöcken zusammengefaßt. Versehen mit bestimmter Steuerinformation spricht man auch von Telegrammen. Für diese Datenblöcke muß der Blockbeginn vereinbart (synchronisiert) werden. Das geschieht für Blockanfang und -ende

- bei der asynchronen Übertragung mit speziellen standardisierten Steuerzeichen,
- bei der synchronen Übertragung mit speziellen Bitfolgen, den Flags.

Bei der HDLC-Prozedur (siehe Pkt. 3.4.7.) ist als spezielle Bitfolge eine mit 6 aufeinanderfolgenden Einsen vereinbart. Diese Bitfolge tritt nur zur Blocksynchronisation auf. Das wird erreicht durch das sendeseitige Einfügen eines 0-Bits nach 5 aufeinanderfolgenden Daten-1 im Block und das empfängerseitige Entfernen dieses 0-Bits ("Bit-stuffing") /9/, /13/.

### 3.4.5. Serialisierung

Die Serialisierung der rechnerseitig auf den Datenleitungen parallel anliegenden Datenworte (z.B. 8-Bit-Wort) werden durch Sende- und Empfangsschieberegister (Bild 3.11) in serielle Bitströme gewandelt. Diese Schieberegister sind meist Bestandteil komplexer Schaltkreise, die die Parallel-Serien-Wandlung bzw. die Serien-Parallel-Wandlung, verbunden mit anderen Funktionen (z.B. Fehlersicherung), oder komplette Protokollfunktionen in sich vereinigen.

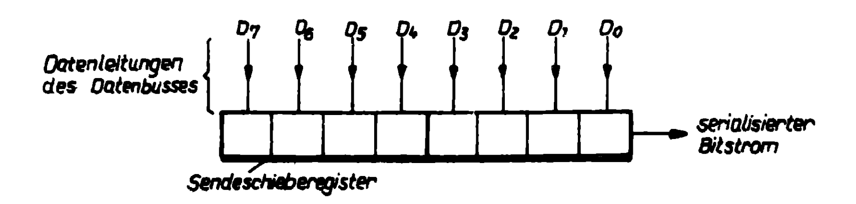



Bild 3.11: Parallel-Serien-Wandlung mit einem Sendeschieberegister

Beispiele dafür sind der U 856 (SIO) beim audatec-Bus und der SCC 8530 (Serial Communication Controller).

### 3.4.6. Fehlersicherung

Bei der Fehlersicherung werden zwei Ebenen unterschieden:

- die Fehlersicherung, die hardwaremäßig durch den Datensender und -empfänger realisiert wird,
- die Fehlersicherung, die durch die Prozedursteuerung und durch die Nutzerprozesse selbst vorgenommen wird.

Für die hardwaremäßige Fehlersicherung existieren u.a. folgende Methoden:

- asynchrone, zeichenweise Übertragung:

  Fehlersicherung durch Paritätsbits (Querparität-Vertical Redundancy Check, VRC; Längsparität-Longitudinal Redundancy Check, LRC)

- synchrone bitweise Übertragung:

  Fehlersicherung durch zyklischen Code (Cyclic Redundancy Check, CRC).

Bei der Querparität wird am Ende des zu sichernden Zeichens eine 0 oder eine 1 als Parität zugeordnet, so daß das gesamte Zeichen eine vereinbarungsgemäß ungerade oder gerade Anzahl von 1-Bits besitzt. Diese Parität wird beim Empfänger überprüft, im Fehlerfall wird das Zeichen als ungültig erklärt.

Die Fehlersicherung mit einem zyklischen Code erfolgt für den gesamten Block. Dieser Block wird wie ein zusammenhängendes binäres Wort behandelt und beim Sender durch ein standardisiertes Generatorpolynom z.B. CRC-16-Polynom

$$x^{16} + x^{15} + x^2 + 1 \quad /13/ \qquad (3.1)$$

dividiert und der 16-Bit lange Divisionsrest mit am Blockende übertragen. Der Empfänger vollzieht die gleiche Prozedur und vergleicht sein Ergebnis mit dem übertragenen Divisionsrest, woraus auf Übertragungsfehler geschlossen werden kann. Während mit der Querparität nach /6/ eine Verminderung der Rate der unentdeckten Blockfehler um den Faktor $10^2$ erreicht werden kann, beträgt er beim CRC-Verfahren $10^5$. Die CRC-Bildung wird mit CRC-Schieberegistern z.B. im U 856 komplett realisiert.

### 3.4.7. Übertragungssteuerung

Unter dem Begriff Übertragungssteuerung soll hier die Steuerung des Ablaufes der Übertragung und der Behandlung von strukturierten Informationen (Block, Frame, Telegramm) verstanden werden.

Zur Übertragung müssen die Daten in Blöcke aufgeteilt werden. Die Struktur dieser Blöcke entspricht bei den meisten Systemen einem Standard, einen Standardentwurf oder einer Empfehlung. Eng verbunden mit der entsprechenden Blockstruktur ist die Festlegung der grundlegenden Übertragungsabläufe.
Beispiel für eine solche Standardfestlegung sind die bereits erwähnte HDLC-Prozedur und die SDLC-Prozedur (von IBM) /4/, /13/. Erstere ist bei Anlagenbussystemen ein häufig angewendeter Standard. Diese bitorientierte Prozedur ist auch beim audatec-Bussystem zugrunde gelegt worden.

Beispiel für eine zeichenorientierte Prozedur bei asynchronen Übertragungsverfahren ist die BSC-Prozedur (Binary Synchronous Protocol, auch Bisync, von IBM)/17/.

An dieser Stelle soll nur kurz auf die weit verbreitete HDLC-Prozedur, von der viele andere Prozeduren mit vergleichsweise nur geringfügigen Änderungen abgeleitet worden sind, eingegangen werden. HDLC wird auch als Übertragungsprozedur für Datenpaketnetze mit X.25-Schnittstelle (CCITT) verwendet /4/.

Alle seriellen Blockstrukturen haben den gleichen Grundaufbau (Rahmen), der den

- Kopfteil
- Datenteil
- Fehlersicherungsteil
- Blockbegrenzungsteil

umfaßt.

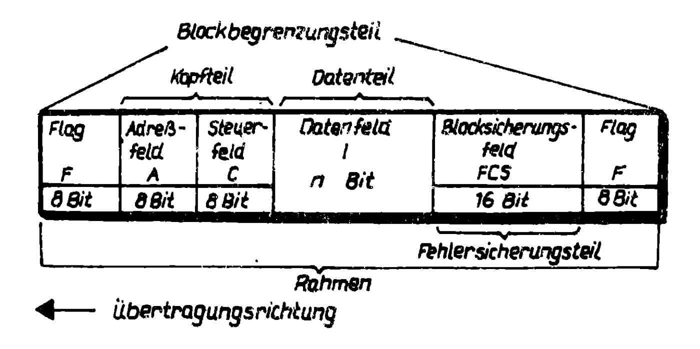



Bild 3.12: Blockaufbau bei der HDLC-Prozedur.

Das Flag-Byte F dient der Blocksynchronisation zwischen Sender und Empfänger. Die F-Bitfolge 01111110 darf nur zu diesem Zweck im Rahmen auftreten. Das Adreßfeld A gibt die Zieladresse an. Das Steuerfeld C enthält Steuerinformationen zum Ablauf der Übertragung. Es kann auf 16 Bit erweitert werden. Die zweiten 8 Bit werden beim PDV-Bus /18/ - /20/ und beim audatec-Bus als Quelladresse (Sender) verwendet. Das Datenfeld I enthält eine beliebige Bitzahl, bei der SDLC-Prozedur ganzzahlige Vielfache von 8 Bit.

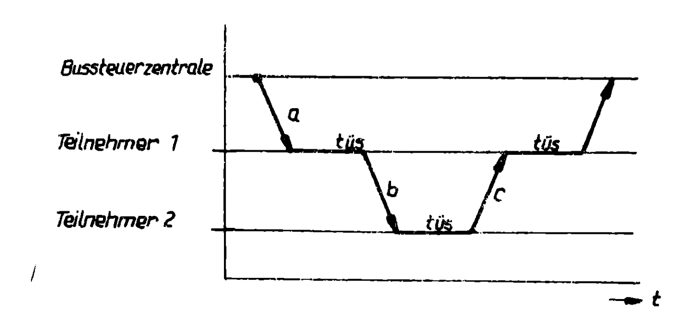



Bild 3.13: Beispiel eines zusammengesetzten Übertragungsablaufes bei zentraler Buszugriffssteuerung

a) Übergabe der Bussteuerfunktion
b) Schreiben
c) Quittung
$t_{ÜS}$ Übertragungssteuerzeit

Die jeweils durch den Sender am Bus ausgewählten Ablaufarten werden im Steuerfeld codiert. Die Festlegung der Ablaufarten und die Art der Codierung enthalten die bereits genannten Prozedur-Standards.Bei den MRAA-Bussystemen werden die meist modifiziert angewendet.

In engem Zusammenhang mit den Übertragungsabläufen steht die Festlegung der Art der Buszugriffssteuerung für ein Bussystem.

### 3.4.8. Zugriffssteuerung

Mit der Zugriffssteuerung wird die Reihenfolge der Benutzung eines Übertragungskanals durch die mit einer Übertragungsforderung anstehenden Teilnehmer festgelegt. Der Übertragungskanal kann ein Frequenzkanal der Busleitung beim Breitband oder die gesamte Busleitung beim Basisbandverfahren sein.

Es gibt Standards, die gemeinsam mit der Übertragungssteuerung die Art des Zugriffssteuerverfahrens festlegen. (DIN 19241, PROWAY, IEEE 802.3, /20/ - /25/).

Die Zugriffssteuerverfahren für Prozeßbussysteme und Lokale Rechnernetze können nach verschiedenen Aspekten eingeteilt werden. Solche Aspekte sind beispielsweise:

1. Lokalisation der Zugriffssteuerfunktion im Bussystem
2. Determiniertheit des Buszugriffs
3. Topologische Struktur des Bussystems
4. Zugriffsstrategie.

Bezüglich des ersten Aspektes lassen sich Zugriffssteuerverfahren mit einem zentralen zugriffssteuernden Busteilnehmer oder mit Zugriffssteuerfunktionen, die auf alle Busteilnehmer verteilt sind, unterscheiden. Ein Buszugriffsverfahren kann einen Buszugriff für einen bestimmten Teilnehmer in einer vorgegebenen Zeitspanne $T_Z$ mit Sicherheit (determiniert) garantieren oder mit einer entsprechenden Wahrscheinlichkeit $P_Z$ (stochastisch) angeben.

Die Zugriffssteuerverfahren lassen sich entsprechend der Systemstrukturen in linientypische (bustypische) und ringtypische Verfahren unterscheiden.

Bild 3.14 zeigt eine Übersicht von Zugriffsverfahren, die die verschiedenen Aspekte berücksichtigt /28/. Sie gilt für Prozeßbussysteme und LAN, erhebt aber nicht den Anspruch auf Vollständigkeit.

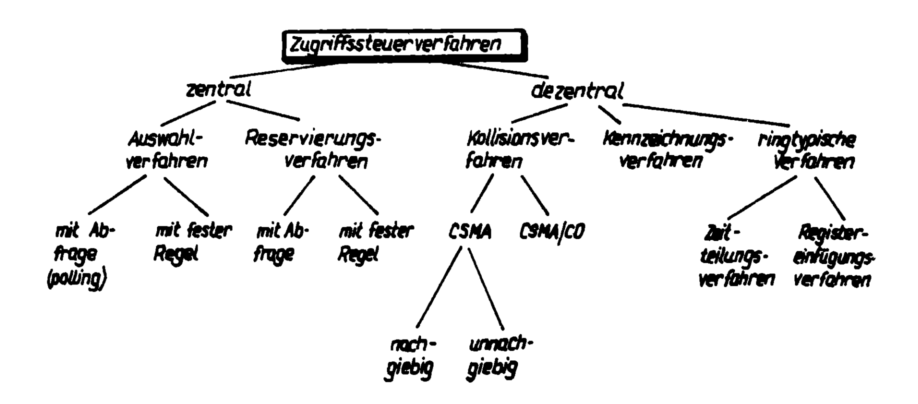



Bild 3.14: Übersicht von Zugriffssteuerverfahren

a) Auswahlverfahren

Bei dem Auswahlverfahren /6/ darf ein Teilnehmer erst dann auf den Bus zugreifen und Daten senden, wenn er von einer Steuerzentrale die Erlaubnis (master-Vergabe) erhält. Die master-Vergabe als 2. Zyklus kann von der Steuerzentrale aufgrund einer Stationsabfrage als 1. Zyklus (polling, Abfrage der Zugriffswünsche Bild 3.15a1) oder nach einer festen Regel, unabhängig von den in den Teilnehmern vorhandenen Zugriffswünschen erfolgen (Bild 3.15a2, z.B. Contronic P /53/).

Die master-Vergabe im 2. Zyklus ist meist so gestaltet, daß die Teilnehmer, die den master erhalten haben, den Bus über eine begrenzte Zeit für ein oder mehrere Aufruf-Antwort-Sequenzen mit untergeordneten Teilnehmern steuern.

Daneben gibt es Auswahlverfahren, die nur den 1. Zyklus realisieren (feste master-slave-Anordnung oder "reines polling").

Beispiele für Stationsabfragesysteme sind audatec /46/, TDC 2000-Data Hiway /48/.
Es gibt auch die Möglichkeit der festen master-slave-Zuordnung als Sonderfall der festen Regel.

Weitere Auswahlverfahren werden in den verschiedensten Varianten bei Anlagenbussystemen angewendet /29/.

Solche Varianten sind z.B. die zyklische und ereignisorientierte Datenabfrage und -verteilung bei Procontrol P /55/ und das Verfahren der delegierbaren Stationsabfrage (damit dezentrale Realisierung des Auswahlverfahrens) bei Teleperm M /50/.

Ein spezielles polling (s. Bild 3.15a3) kann auch dadurch realisiert werden, daß von einer momentanen oder permanenten Bussteuerzentrale ein Abfrageprotokoll (Stationsumlauf) mit N (Teilnehmerzahl) Plätzen gesendet wird, wobei sich jeder Zugriff-wünschende Teilnehmer auf dem ihm zugeordneten Platz eintragen kann. Nach zentraler oder dezentraler (Mithören der

Teilnehmer) Auswertung des Protokolls erfolgen die Buszugriffe in angegebener Reihenfolge (Teleperm M) /50/.

b) Reservierungsverfahren

Bei dem Verfahren mit Reservierung darf ein Teilnehmer Daten in einem Zeitintervall übertragen, das speziell für ihn reserviert worden ist. Diese Intervalle werden auch slot's (Öffnung, Schlitz) genannt (Bild 3.15b).

Ein bekanntes Reservierungsverfahren für LAN ist das TDMA (Time Division Multiple Access), bei dem nach einer festen Regel (unabhängig von den tatsächlich vorliegenden Zugriffswünschen) Zeitscheiben an die Teilnehmer vergeben werden.

Dezentrale Zugriffssteuerverfahren sind die Kollisionsverfahren, die Kennzeichnungsverfahren, die Zeitteilungs- und Registereinfügungsverfahren.

c) Kollisionsverfahren /30/

Die stochastischen Kollisionsverfahren sind bei Datenübertragungssystemen ohne Echtzeitanforderungen, z.B. bei Lokalen Netzen zur Büroautomation, weit verbreitet. Diese Verbreitung wurde durch die Standardisierung des CSMA/CD und deren Anwendung im ETHERNET-System unterstützt. Aufgrund der hohen Leistungsfähigkeit der CSMA/CD-Netze wird ihre Anwendung auch für die Echtzeitübertragung erwogen (SINEC H1/37).

Die stochastischen Zugriffsverfahren lassen sich noch weiter untergliedern. An dieser Stelle sei dazu auf /4/ verwiesen. Bei den im Bild 3.14 aufgeführten CSMA-Verfahren (Carrier Sense Multiple Access) hören die Teilnehmer einen ständig am Übertragungsmedium anliegenden Träger ab (carrier sense). Dadurch können sie unterscheiden, ob ein anderer Teilnehmer gerade sendet oder ob der Kanal eines Breitbandmediums, bzw. das Basisbandmedium, gerade nicht benutzt wird. Falls ein sendewilliger Teilnehmer das Medium als nicht belegt diagnostiziert, sendet er seinen Block ab. (Bild 3.15c). Falls weitere Teilnehmer genau in einem charakteristischen Zeitintervall $\Delta t$ zu senden beginnen, das den Sendebeginn des betrachteten Senders einhüllt, entsteht eine Kollision, die gesendeten Daten überlagern und verfälschen sich.

Je nachdem, ob die Sender sofort erkennen können, daß ihre gerade ausgesendeten ersten Bit's des Sendeblockes verfälscht sind, oder ob sie das erst von der fehlenden Antwort des angesprochenen Empfängers ableiten müssen, wird das CSMA/CD (Collision Detection- Kollisionserkennung) oder das reine CSMA unterschieden.
Je nachdem wie sich die Sende-Teilnehmer verhalten, wenn der Kanal belegt ist, wird u.a. CSMA mit unnachgiebigen Zugriff (non-persistent CSMA), und mit nachgiebigen Zugriff (persistent CSMA) unterschieden.
Beim unnachgiebigen CSMA wird bei besetztem Kanal solange abgehört, bis er frei ist und dann sofort gesendet.

Beim nachgiebigen CSMA dagegen wird bei der Erkennung des Belegungszustandes des Kanals ein nächster Zugriffszeitpunkt festgelegt und das Abhören bis dahin beendet. Für das Festlegen des Zugriffszeitpunktes gibt es unterschiedliche Strategien.

Die Vorteile der Kollisionsverfahren sind

- einfache Zugriffsstrategie,
- logische Rückwirkungsfreiheit durch passive Teilnehmer (Zu- oder Abschalten von Teilnehmern hat keine Auswirkungen).

Die Nachteile sind das schlechte Zeitverhalten bei hohem Übertragungsaufkommen, die nichtdeterminierten Zugriffszeiten und die Abhängigkeit des Zeitverhaltens von der Buslänge (Signallaufzeit beeinflußt $\Delta t$).

d) <u>Kennzeichnungsverfahren</u>

Ein wichtiges determiniertes dezentrales Zugriffssteuerverfahren ist das Kennzeichnungsverfahren (TOKEN, TOKEN PASSING). Auch für diese Strategie gibt es Standards (PROWAY, IEEE 802.4).

Das "TOKEN" ist ein spezielles Bitmuster, das von einem Teilnehmer zum festgelegten nächsten weitergereicht wird. Der Teilnehmer, der das Token erhält, erhält somit die master-Funktion am Bus und darf eine begrenzte Zeit bzw. eine festgelegte Anzahl von Übertragungsabläufen realisieren. Dieses Token kann in einem Ringbussystem zirkulieren oder in einem Linienbussystem einen logischen Ring bilden (Bild 3.15d). Die Kennzeichnungsverfahren haben bestimmte Bestandteile, die das Token wieder erzeugen, wenn es durch Übertragungsfehler verloren gegangen ist (time out-Schaltung) und die den logischen Ring neu aufbauen, wenn Teilnehmer am Medium zu- oder abgeschaltet worden sind (Rekonfigurationsstrategie).

e) <u>Ringtypische Verfahren</u>

Das Zeitteilungsverfahren (EMPTY SLOT) ist ein ringtypisches Verfahren, es kann nur bei unidirektionalen Ringbussen angewendet werden, wobei der Ringbus aus streckengetrennten Teilen (Punkt-Punkt-Abschnitten) zwischen je zwei Teilnehmern besteht und damit eine Information nicht gleichzeitig bei allen Teilnehmern anliegt, wie es sonst beim Busprinzip der Fall ist.

Auf dem Ring läuft ständig eine feste Anzahl von leeren Abschnitten (empty slot) um, die von den Sendeteilnehmern gefüllt und von den Empfangsteilnehmern geleert werden (Bild 3.15e1). Ist ein Abschnitt gefüllt worden, wird er als belegt gekennzeichnet. Die zu übertragenden Nachrichten müssen in Blöcke gemäß der Abschnittslänge zerlegt werden. Dieses Verfahren wird beim CAMBRIGDE RING /4/ (Lokales Rechnernetz) angewendet. Bei diesen Ringsystemen können somit mehrere Übertragungen gleichzeitig laufen.

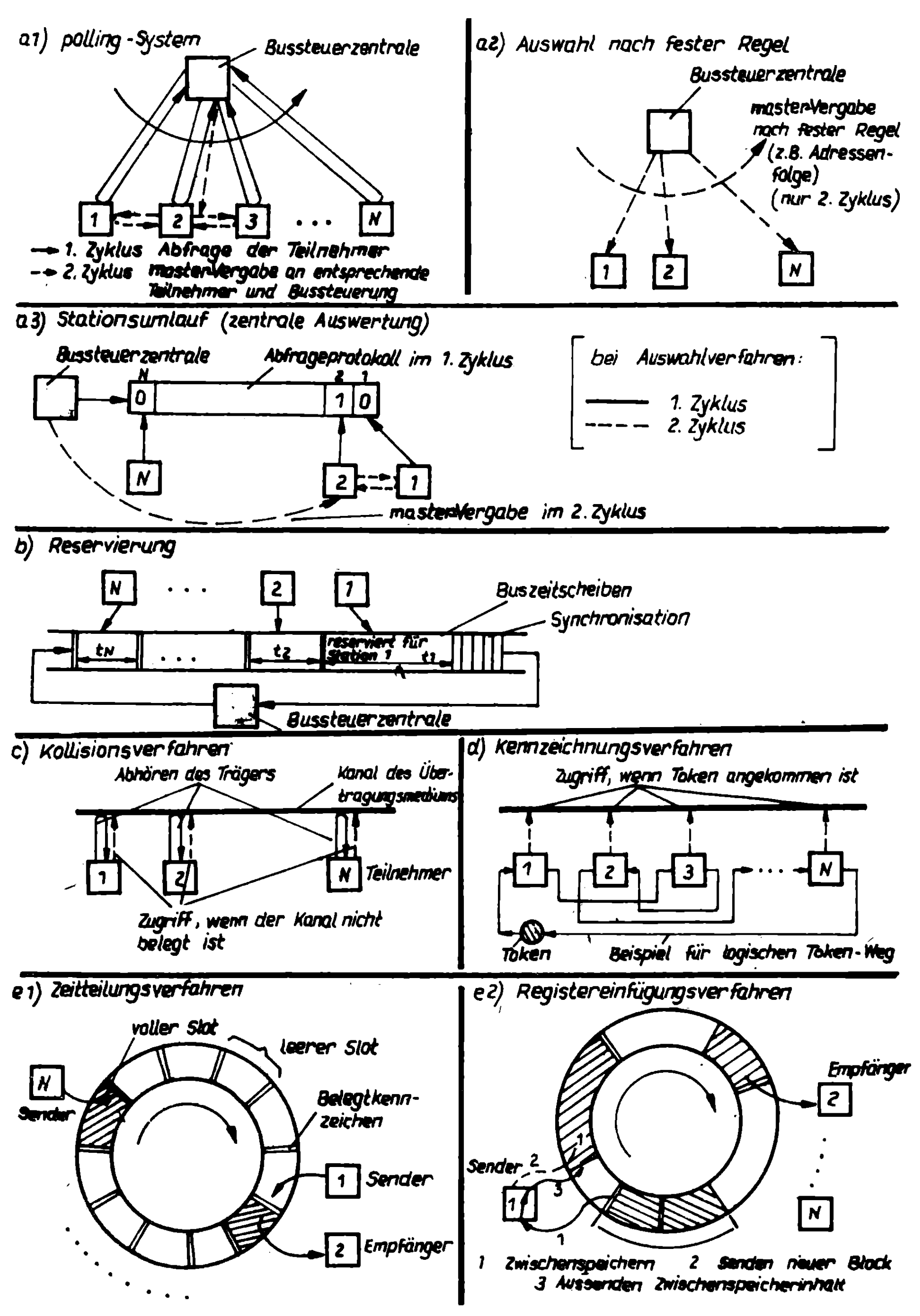



Bild 3.15 : Funktionelle Erläuterung der Zugriffssteuerverfahren

Das Registereinfügungsverfahren (buffer insertion) arbeitet mit Zwischenspeicherung (store-and-foreward) und ist ebenfalls nur bei unidirektionalen Ringbussen realisierbar. Will ein Teilnehmer einen Block senden, speichert er die gerade eintreffenden Blöcke (store), fügt seinen Block ein und sendet die in seiner Sendezeit zwischengespeicherten Blöcke danach weiter (foreward).

Die Blöcke können im Gegensatz zum Zeitteilungsverfahren variable Länge besitzen. Wiederum ist es ein typisches LAN-Verfahren. Es wird beim Distributed Computer Network (DCLN) /4/ angewendet (Bild 3.15e2).

# 4. Schichtenmodell der Datenübertragung

## 4.1. Übersicht des OSI-Modells

Digital-serielle Datenübertragungssysteme dienen dazu, die Nutzerprozesse, die auf verschiedenen Rechnereinheiten verteilt sind, informativ zu verkoppeln.

Der Anwendungsprogrammierer, der die Nutzerprozesse funktionell und programmäßig gestaltet, braucht die software- und hardwaremäßige Realisierung dieser informativen Kopplung nicht zu berücksichtigen, wenn im Rahmen einer Schnittstelle sämtliche funktionell-technischen Parameter für die Nutzung der unteren Systemfunktionen festgelegt sind. Der Anwendungsprogrammierer kann diese festgelegte Systemfunktion als Dienst benutzen.

Für die komplexe Schnittstelle zwischen Nutzerprozeß und Datenübertragung können nun jeweils mehrere einander hierarchisch übergeordnete Systemdienste (Schichten) definiert werden, wobei die Schnittstelle zur jeweils untergeordneten Schicht deren Funktionsumfang festlegt.
Als einheitliches Schichtenmodell für offene Systeme wurde 1979 vom Subkomitee SC 16 des für Datenverarbeitung zuständigen Technischen Komitees TC 97 des internationalen Normungsgremiums ISO (International Standardization Organisation) das sogenannte OSI-Modell (Open Systems Interconnection) entworfen und vorgeschlagen /31/.

Das OSI-Modell ist ein Bezugsmodell, das einen allgemeinen Katalog an Standardempfehlungen zum einheitlichen Entwurf von Verbundsystemen für heterogene Gerätetechnik enthält.

"Offen" bedeutet hierbei, daß ein dem OSI-Bezugsmodell entsprechendes Rechnerverbundsystem für den Anschluß der Rechner offen ist, die ihrerseits zum Verbundsystem hin dem gleichen Standard entsprechen /4/.

Diese Forderungen nach offener Gestaltung und der daraus folgende Zwang nach Einheitlichkeit der informativen Kopplung war zunächst der Natur nach für Flächendeckende und Lokale Rechnernetzwerke relevant.

Jetzt kommt es aber auch bei den industriell eingesetzten Lokalen Netzwerken und den Prozeßbussystemen, wie eingangs im Punkt 2 bereits festgestellt worden ist, darauf an, die bisher für die homogene MRAA entwickelten Datenübertragungssysteme für den busseitigen Anschluß systemfremder Gerätetechnik zu öffnen. Diese Forderung kann nur dann realisiert werden, wenn auch bei industriellen Netzwerken und Prozeßbussystemen die Architektur der Übertragungssysteme am OSI-Bezugsmodell orientiert wird.

Solche Schichten- oder Schalenmodelle sind bereits von der Architektur von Rechnerbetriebssystemen her bekannt. Als Beispiel sei hier das internspeicherorientierte Echtzeitbetriebssystem EIEX 1521 angeführt.

Das OSI-Modell ist ein Modell mit 7 hierarchisch übereinander angeordneten Schichten (Bild 4.1).

Jede Schicht realisiert einen oder mehrere unabhängige Dienste. Einem Dienst ist genau ein Kommunikationsprotokoll zugeordnet. Ein Kommunikationsprotokoll bedeutet soviel wie Absprache, feste Regel und Steuerungsvorschrift zwischen den Kommunikationspartnern. Dabei werden in diesem Fall unter Kommunikationspartnern fiktive Einrichtungen (entity) verstanden, die den einzelnen Schichten zugeordnet sind.

Es wird zwischen vertikaler Kommunikation, wo eine höhere Schicht den Dienst einer niederen Schicht über eine definierte Schnittstelle benutzt, und horizontaler Kommunikation, als Kommunikation zwischen gleichen Schichten verschiedener Teilnehmer, unterschieden.

| | | |
|---|---|---|
| 7 | Nutzer-, Anwender- oder Applikationsschicht<br>application layer | datenverarbeitungstypische Schichten |
| 6 | Darstellungsschicht<br>presentation layer | |
| 5 | Sitzungsschicht<br>session layer | |
| 4 | Transportschicht<br>transport layer | transporttypische Schicht |
| 3 | Netzwerkschicht<br>network layer | datenübertragungstypische Schicht |
| 2 | Datenverbindungsschicht<br>data link layer | |
| 1 | physikalische Schicht<br>Physical layer | |

Bild 4.1: Schichten des OSI-Bezugsmodells

Diese Kommunikationsarten werden durch die Protokolle genau geregelt.

Ein Kommunikationsprotokoll umfaßt im allgemeinen folgende Festlegungen(vergl. auch mit /4/):

- Art der logischen Verbindungsaufnahme (z.B. Ansprechen eines Empfängers durch einen Sender, Quittierung durch den Empfänger, Auflösen einer aufgebauten Verbindung)
- zeitlicher Ablauf der Kommunikation (z.B. zeitlicher Ablauf eines Übertragungsspiels zwischen Sender/Empfänger in der physischen Schicht)
- Reaktionen auf fehlerhafte Abläufe und andere Ereignisse
- Formate der Steuernachrichten, Zustandsinformationen und Daten sowie der verwendeten Kodes.

Der Ablauf der Kommunikation wird durch Protokollwörter (Steuerkommandos wie Aufruf, Antwort, Befehl-, Dateninformationen usw.) gesteuert.

Mit dem HDLC-Protokoll wurde bereits ein Kommunikationsprotokoll der Schicht 2 im Punkt 3.4.7. beschrieben.

Ein zu übertragender Datenblock durchläuft vom Nutzerprozeß (Anwenderprogramm, Task) modellgemäß alle 7 Schichten nacheinander in einem Sende-Teilnehmer bis zum physikalischen Übertragungsmedium (Schicht 0) und im Empfangsteilnehmer wieder alle 7 Schichten von unten her bis zum Nutzerprozeß (Bild 4.2). Das ist der vertikale reale Kommunikationsweg /32/. Der Datenblock durchläuft die entsprechenden Kommunikationsprotokolle. Dabei werden, wie im Bild 4.3 vereinfacht dargestellt, die Datenblockformate von Schicht zu Schicht ergänzt. Sie sind somit ineinander geschachtelt.

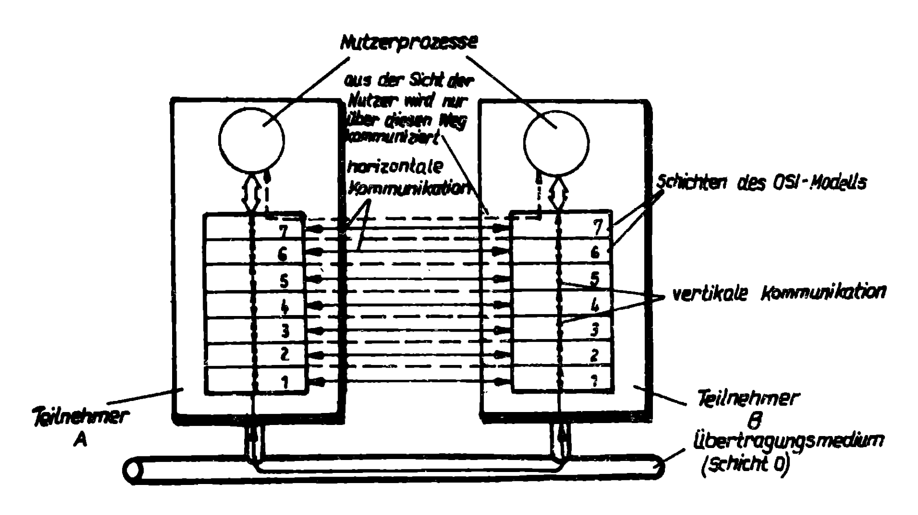



Bild 4.2: Vertikale und horizontale Kommunikation im Schichtenmodell

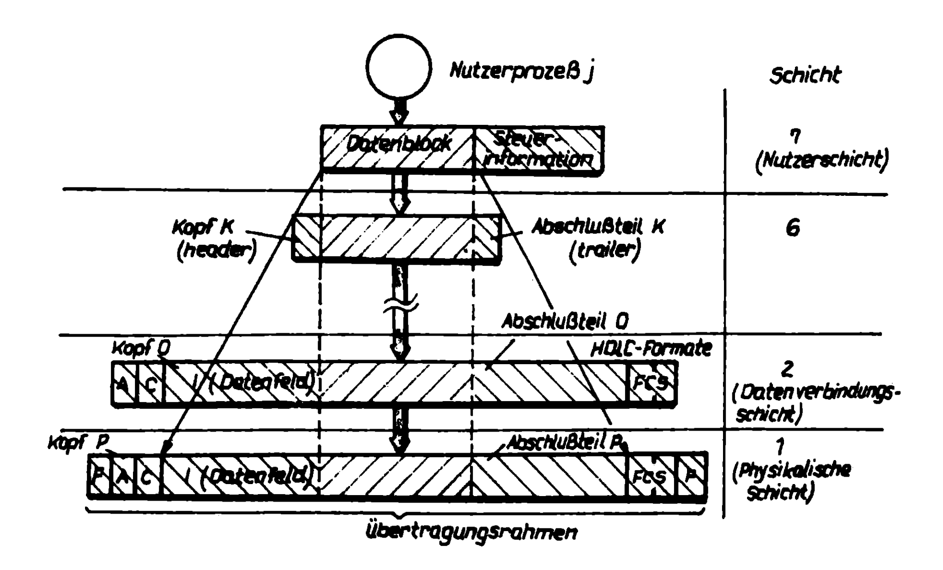



Bild 4.3: Geschachtelte Datenblockformate

Aufgrund der klaren Schichtendefinition und der Protokollfestlegung in einer Schicht braucht für die Betrachtung eines Datenübertragungsvorganges von einer Schicht aus nicht mehr der vertikale Weg herangezogen zu werden, sondern nur der horizontale. Die jeweiligen Funktionen der unteren Schichten werden als black box betrachtet (Bild 4.2).

Unabhängig von der internen Realisierung besitzen die Schichten nach außen und von der Anwenderschicht aus betrachtet die Teilnehmer das gleiche logisch-funktionelle Anschlußbild /4/.

Die Teilnehmer sind damit logisch-funktionell kompatibel, die Realisierungen einer Schicht können beliebig ausgetauscht werden (z.B. verschiedene Hochsprachenrealisierungen der Nutzerprozesse, Austausch von Übertragungsmedien). Damit wird das OSI-Modell dem Kompatibilitätsziel gerecht.

Die einzelnen Schichten des OSI-Bezugsmodells werden zu folgenden drei Klassen zusammengefaßt (Bild 4.1).

- Klasse der datenverarbeitungstypischen Schichten (Schicht 7, 6, 5,),
- Klasse der transporttypischen Schicht 4,
- Klasse der datenübertragungstypischen Schichten (1, 2, 3).

Diese Schichten werden im folgenden beschrieben.

## 4.2. Beschreibung der Schichten

### Schicht 7: Nutzer-, Anwenderschicht

Sie ist die Schicht, die die unmittelbare Schnittstelle zwischen Nutzerprozeß und Datenübertragungssystem enthält. Für den Nutzerprozeß treten die anderen Schichten gar nicht in Erscheinung. Die Nutzerprozesse kommunizieren miteinander über diese Schicht. Dabei können u.a. folgende Funktionen auftreten:

- gegenseitige Steuerung der Verarbeitungsprozesse (Startanmeldung, Synchronisation),
- Übertragung von Datenmassiven (filetransfer), z.B. von systemzentralen Speichern (Festplatte, Diskette, Kassette) bei Anlauf eines Automatisierungssystems (gegenseitige Kommunikation von Speicherprozessen),
- Übertragung von Kurzinformationen (message transfer), z.B. Übertragung von aktuellen Prozeßdaten zur Einblendung in die statischen Bilder der Bedienpulte (Kommunikation von Verarbeitungs- und Speicherprozeß) oder Übertragung von Prozeßsteuerinformation von BSE zu BSE,
- Weitere Funktionen sind z.B. Virtuelles Terminal, Mail Box usw.

### Schicht 6: Darstellungsschicht

Sie ist notwendig, wenn im offenen Verbundsystem nicht systemhomogene Rechner informativ gekoppelt werden sollen. In der Darstellungsschicht werden die unterschiedlichen Datenformate (z.B. Gleitkomma- und Festkommaformate)-codes, -strukturen und Symbole in eine Standarddarstellung transformiert (syntaktisch konvertiert).

### Schicht 5: Sitzungsschicht

In dieser Schicht werden "Gespräche" (Sitzungen) zwischen Nutzerprozessen gesteuert. Dazu wird ein administrativer Sitzungsdienst zum Aufbauen und Auflösen von gesprächsartigen Datenaustauschprozessen zwischen den Nutzern und ein Sitzungsdialogdienst zur Steuerung des gesamten Datenaustausches unterschieden. (Vergleiche z.B. Einleitung, Führung und Beendigung eines Telefongesprächs).

### Schicht 4: Transportschicht

Diese Schicht realisiert die Steuerung und Überwachung des gesamten Datentransports zwischen logisch verbundenen Endpunkten (den fiktiven Quell- und Ziel-Transporteinrichtungen in den verschiedenen Teilnehmern). Das schließt

- die Steuerung der logischen sequentiellen Übertragungsabläufe (z.B. Abfragen von Datenbereichen aus mehreren Teilnehmern, Einhaltung der richtigen Reihenfolgen in einer Verbindung),

- die Auswertung von Fehlersicherungsmaßnahmen (Datenblocklängenüberwachung, Prüfung von Quittungen, Behebung von Verdopplungen oder Verlusten von Nachrichten),
- die Verhinderung von Datenüberschwemmungen bei den Empfängern durch "Flußsteuerung" und
- die Zerlegung von Datenmassiven in übertragbare Blöcke ein.

Schicht 3: Netzwerkschicht

Diese Schicht ist erforderlich bei dem Vorhandensein alternativer physischer Übertragungswege. Das ist der Fall bei Netzstrukturen (s. Bild 3.6d). In der Netzwerkschicht sind die Auswahl des jeweils günstigsten Übertragungsweges (routing) und die Konfigurationsstrategie (Zu- und Abschalten von Teilnehmern im Netz und damit notwendige Rekonfigurierung der potentiellen Übertragungswege) angeordnet.

Schicht 2: Datenverbindungsschicht (Leitungssteuerschicht)

Aufgabe dieser Schicht ist es, die Datenübertragung in den Übertragungskanälen zu steuern und zu überwachen. Für Prozeßbussysteme und Lokale Netzwerke sind dieser Schicht die unter Punkt 3.4 beschriebenen Funktionen

- Zugriffssteuerung
- Übertragungssteuerung (nicht transportorientierter Teil)
- Fehlersicherung
- Serialisierung

zugeordnet.

Schicht 1: Physikalische Schicht

In ihr werden die Dienste realisiert, die an das verwendete Übertragungsmedium gebunden sind. Dazu gehören die Funktionen

- Synchronisation
- Signalcodierung
- Übertragungssignalaufbereitung (s. Pkt. 3.4)
- Medienanpassung.

Für diese Schichten des OSI-Bezugsmodells wurden durch die verschiedenen Standardisierungsorganisationen Standardisierungsempfehlungen erarbeitet. Diese Empfehlungen wurden bei den BUS-Standard-Objekten der Standardisierungsorganisationen und bestimmter Firmen berücksichtigt.
Solche Bus-Standard-Objekte sind im Punkt 4.3 beschrieben.
Die wichtigsten Standardisierungsorganisationen sind ISO, CCITT, ANSI, IEEE und ECMA.

## 4.3. Anwendung des Schichtenmodells

### 4.3.1. Flächendeckende Netzwerke

Flächendeckende Rechnernetze (oder Netzwerke) sind in der Regel Unikate, d.h. ihre Realisierung ist auf den jeweiligen Anwendungsfall zugeschnitten. Gemeinsam ist ihnen, daß ihre Architektur auf der Grundlage hierarchischer Mehrschichtenmodelle entworfen wurde. Die neueren Verbundsysteme orientieren sich am 7-Schichten-OSI-Modell. Während die Standardisierung für die anwendungstypischen Schichten 5 - 7 zukünftig vorgenommen werden soll, wurden die Schichten 1 - 3 durch die CCITT-Empfehlung X.25 standardisiert.
Für die Transportschicht 4 gibt es ebenfalls einen Standardisierungsvorschlag /34/, /4/.

Die Empfehlung X.25 legt die Schnittstelle zwischen einer sogenannten Datenendeinrichtung DEE und einer Datenübertragungseinrichtung DÜE in Endeinrichtungen (Rechnereinheiten, Terminals) fest, die im Paketmodus in öffentlichen, flächendeckenden Datennetzen arbeiten (Bild 4.4).

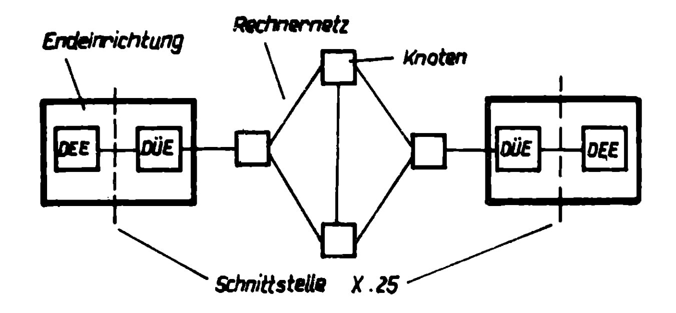



Bild 4.4: Anordnung der Schnittstelle X.25

Die Paketvermittlungstechnik (packet switching) ist neben der Leitungsvermittlung (circuit switching) und der Nachrichtenvermittlung (message switching) eine wichtige Vermittlungstechnik /39/.

Während bei der Paketvermittlung die zu übertragenden Datenmassive in Pakete, z.B. in HDLC-Telegramme, aufgeteilt und jedes einzeln und unabhängig von einer zur anderen Endeinrichtung übertragen und bei der Nachrichtenvermittlung ein ganzes Massiv über zwischenspeichernde Knoten übertragen wird, wird bei der Leitungsvermittlung zur Datenübertragung zwischen zwei Endeinrichtungen wie beim Fernmeldenetz eine physische Verbindung durchgeschaltet.

### 4.3.2. Lokale Netzwerke und Prozeßbussysteme

Bei Lokalen Netzwerken werden Vermittlungseinrichtungen, wie sie bei flächendeckenden Netzwerken in Form von Vermittlungsknoten eingesetzt werden, und Vernetzungen der Teilnehmer möglichst vermieden. Das führt zu einfachen Strukturen wie Linie, Ring, Stern oder zu Verbundstrukturen. Ein routing in einer Netzwerkschicht ist somit nicht notwendig. Die Netzdienste werden teilweise auf Zugriffssteuerfunktionen reduziert oder nicht verwendet.

Die untersten 3 Schichten des OSI-Modells werden vor allem bei Prozeßbussystemen durch firmenspezifische Protokolle oder durch Protokolle realisiert, die sich an Standardempfehlungen anlehnen. Einige Beispiele gibt es dafür, daß sich ein solches firmenspezifisches Protokoll zum Standard entwickelt hat (ETHERNET) oder entwickeln wird (MAP).

Folgende wichtige Standards gibt es, die im Punkt 5 erläutert werden:

1. IEEE 802 - Standard Lokaler Netzwerke im Basisband,
2. Manufacturing Automation Protocol (MAP) - Standardisierungsbestrebungen für Lokale Netzwerke im Breitband /35/, initiiert von General Motors (USA)
3. IEC-TC 65 A: Process Data Higway (PROWAY) - Standard für ein Anlagenbus-System
4. PDV-Bus: DIN 19241, Bitserielles Prozeßbusschnittstellensystem - ebenfalls ein Standard für ein Anlagenbus-System.

Die Zuordnung der Protokollschichten dieser Standards zum OSI-Bezugsmodell im Bild 4.5 zeigt, daß sich die Schichtenfestlegung vorrangig auf die unteren 3 begrenzt. Eine Ausnahme bildet das MAP, bei dem bis auf die Darstellungsschicht alle Schichten implementiert sind.

Wesentlich ist, daß bei den LAN und bei den Prozeßbussystemen Teile der Grundfunktionen der seriellen Datenübertragung, die der Schicht 1 und/oder 2 zugeordnet werden können, standardentsprechend durch VLSI-Protokollschaltkreise sehr kostengünstig realisiert werden.

Die datenverarbeitungsorientierten Schichten lassen sich fagegen nur mit sehr großem Aufwand an Software, Speicherumfang und Rechenzeit realisieren. Ihre Integration in Prozeßbussysteme und LAN hat sich daher noch nicht breit durchgesetzt. MAP ist der Anfang dieser neuen Entwicklung.

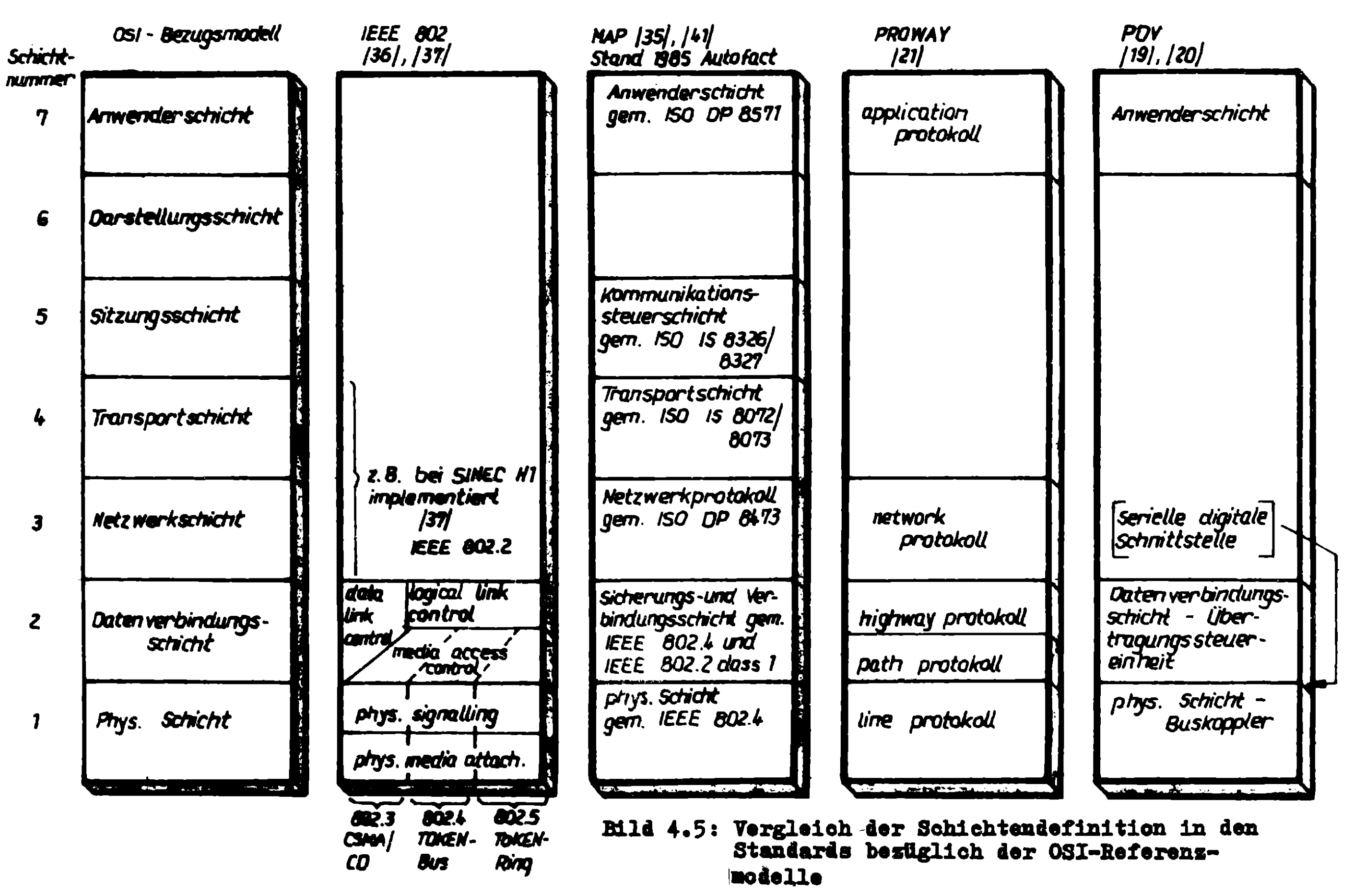



**Bild 4.5: Vergleich der Schichtendefinition in den Standards bezüglich der OSI-Referenzmodelle**

## 5. Standardisierungen von Datenübertragungssystemen

### 5.1. IEEE 802.3 - Ethernet

Mitte der 70-er Jahre wurde von der Firma XEROX ein ETHERNET-Prototyp entwickelt. Darauf aufbauend wurden von den Firmen DEC, Intel und Xerox weitere Ethernet-Varianten als Gemeinschaftsentwicklung auf den Markt gebracht, die die Grundlage für die Standardisierung der Arbeitsgruppen IEEE 802 bildete. Bild 5.1 zeigt gemäß /6/ eine Aufgliederung der Standardvorschläge des IEEE-802-Arbeitskreises. Hier soll nur kurz auf das derzeitige für die Büroautomation entwickelte ETHERNET-System eingegangen werden, das einen faktischen Industriestandard darstellt.

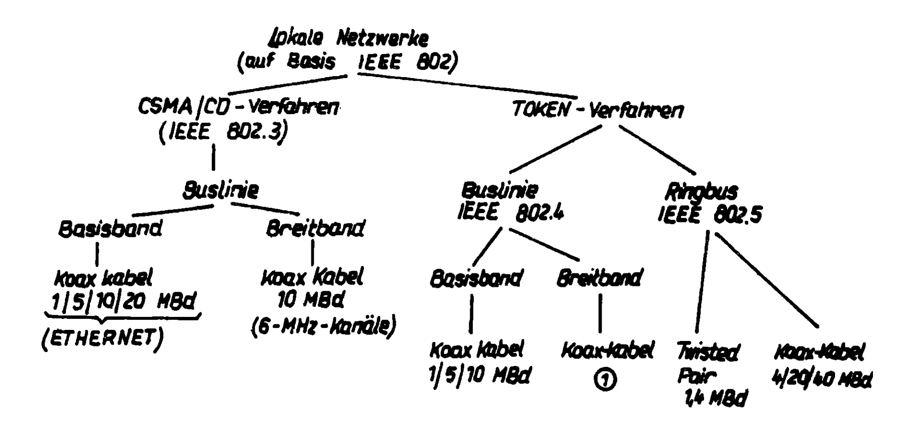



Bild 5.1: Aufgliederung der IEEE 802-Standardvorschläge für Lokale Netze nach /6/

① 1.544 MBd (4/6 MHz-Kanäle)
5/10 MBd (6 MHz-Kanäle) MAP-Standard 1985
10/20 MBd (12 MHz-Kanäle)

Auf dieser Grundlage entwickelten viele Firmen eigene Datenübertragungssysteme (z.B. SINEC H1, Siemens). Die Parameter von ETHERNET sind in Tafel 5.1 enthalten. Bemerkenswert ist die hohe mögliche Teilnehmerzahl von 1024 und die implementierte Paketsteuerung. Ein ETHERNET-System bildet eine Verbundstruktur aus Buslinien, eine sogenannte segmentierte Struktur (Bild 5.2).

Ein Teilnehmeranschluß des ETHERNET (s. Bild 5.3) besteht aus dem Controller zur Übertragungssteuerung und dem Transceiver (Buskoppler), der die nichtunterbrechende Ankopplung an das Koaxkabel realisiert.

Der Transceiver realisiert die Kollisionserkennung und das Treiben der Sende- und Empfangssignale. Für ihn gibt es das Transceiver-Chip AM 79xx (Advanced Micro Devices).

Für den Controller wurde der multibuskompatible ETHERNET-Controller ISBC 550 auf Basis des INTEL 8088, bestehend aus zwei Karten, entwickelt. Jetzt werden für die Funktionen Manchester-II-Codierung/Decodierung, Taktrückgewinnung als Serial-Interface-Adapter der VLSI-IC AM 7991 (entsprechend Intel 82501) und für die eigentlichen Controller-Funktionen ETHERNET-Controller-IC's wie

LANCE (Local Area Network Controller for Ethernet) AM 7990

oder Intel 82586 angeboten.

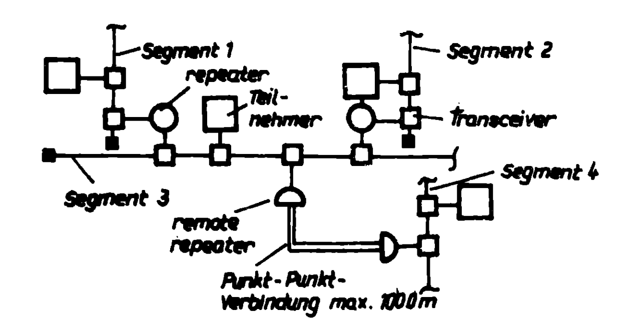



Bild 5.2: Struktur eines ETHERNET-Systems

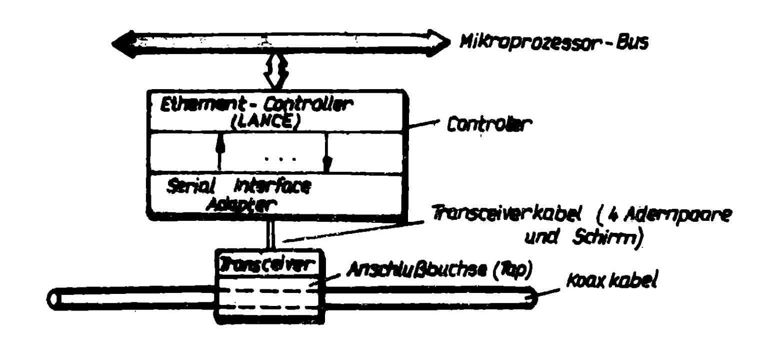



Bild 5.3: Gestaltung eines ETHERNET-Teilnehmeranschlusses

Bild 5.4. zeigt den vereinfachten PAP der ETHERNET-Zugriffssteuerung. Das CSMA/CD-Verfahren wurde im Punkt 3.4.9 erläutert.

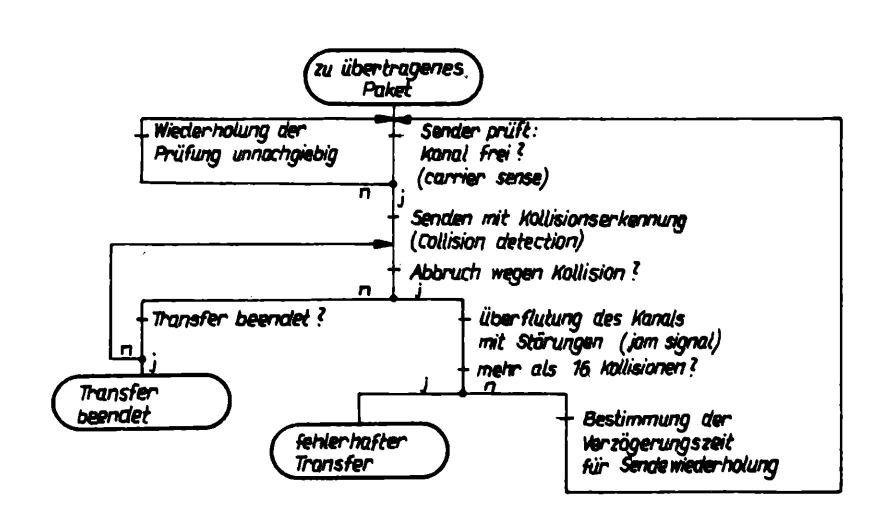



Bild 5.4: PAP des CSMA/CD-Zugriffssteuerverfahrens bei ETHERNET

## 5.2. MAP-Standardisierungsbestrebungen

Durch den amerikanischen Konzern General Motors wurden 1984 Standardisierungsbestrebungen eingeleitet, die darauf abzielen, ein Datenübertragungssystem zu schaffen, das den Anschluß von Prozeßsteuerungssystemen der unterschiedlichsten Hersteller ermöglicht /35/, /41/.

Diese Bemühungen gehen von industriellen Lokalen Netzwerken für die flexible Fertigungsautomatisierung zum Verbund von speicherprogrammierbaren Steuerungen (SPS) aus und münden in Konzeptionen, die automatisierte Fabriken und CIM (Computer Integrated Manufacturing) umfassen. Diese Bemühungen schlagen sich derzeit nieder im MAP (Manufacturing Automation Protocol).

Das MAP stellt eine Kombination von Teilmengen verfügbarer Datenübertragungsstandards dar, deren Architektur an der des OSI-Bezugsmodells orientiert worden ist.

Im Bild 4.5 ist eine solche Referenzliste von Datenübertragungsstandards, die die MAP-Entwicklungsstufe 2.0 verkörpert, dargestellt. Auf ihrer Basis wurde anläßlich der Ausstellung Autofact '85 in Detroit (USA) ein Demonstrationsverbundsystem von 21 Firmen der führenden westlichen Industrieländer für die Anwendung

in der Fertigungsindustrie gezeigt. Diese Firmen haben ebenfalls Anlagenbussysteme in Mikrorechner-Automatisierungsanlagen auf dem Markt, so daß eine zukünftige Beeinflussung von Prozeßbussystemen für Fließprozesse (Verfahrenstechnik) abzusehen ist.

Die wichtigsten Charakteristiken des MAP-Standards 2.0 (1985) sind (s. auch Tafel 5.1)

1. Realisierung der physikalischen Ebene auf der Basis IEEE 802.4 (s. Bild 5.1)
   Das entspricht einem Bussystem auf Basis der determinierten Zugriffssteuervariante "Kennzeichnungsverfahren" (TOKEN-Bus) in Breitbandtechnik, realisiert mit 5 bzw. 10 MBd Datenrate.
2. Realisierung der Datenverbindungsschicht mit dem Standard IEEE 802.4 (Zugriffssteuerung) und IEEE 802.2 (Logische Verbindungssteuerung).
3. Entwicklung von Controller- und MODEM-VLSI-IC's für den TOKEN-Bus für 10 MBd Datenrate im Rahmen der MAP-Stufe 2.1 (bis 1988).
4. Realisierung einer einheitlichen Anwenderschnittstelle in der Anwenderschicht 7 durch die Verwendung des Standard-Telegramm-Protokolls (MMFS) und des Filetransferprotokolls (FTAM).
5. Nachrichtenübertragungszeit von Nutzerprozeß zu Nutzerprozeß von ca. 800 ms bei vollständig implementierten MAP-Standard in den Teilnehmern unabhängig von der Datenrate des Busses.

Der Parameter Nutzer-Nutzerprozeß-Übertragungszeit zeigt eindeutig, daß vor allem die komplexen, softwaremäßig realisierten Schichten oberhalb der Datenverbindungsschicht 2 trotz des Einsatzes hochleistungsfähiger Prozessoren (Intel 80186) und großer interner Speicherbereiche eine Datenübertragung mit hohen Echtzeitforderungen nicht gewährleisten. Darum bleibt dieser Standard auch vorerst auf die Betriebsleit- und Dispatcherebene, bestenfalls auf die Prozeßleit- und Kommunikationsebene (Bild 2.2) beschränkt. Ebenfalls sind die Realisierungen noch sehr teuer.

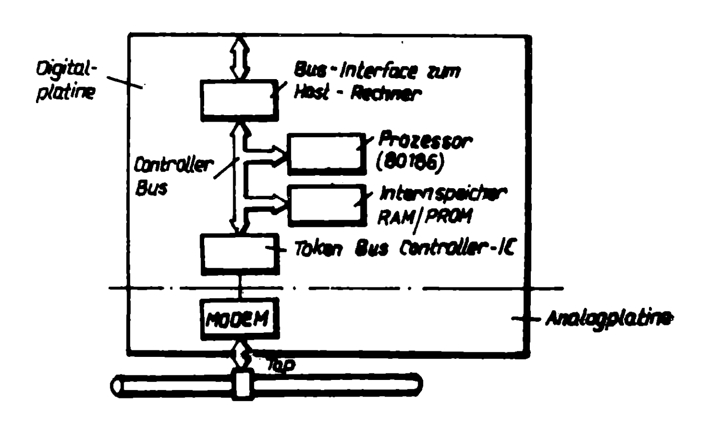



Bild 5.5: Struktur des MAP-Controllers

Bild 5.5 zeigt nach /41/ die Struktur eines MAP-Controllers, der zur Zeit noch aus 2 Leiterkarten (Analog- und Digitalteil) besteht.

Unter anderem unterstützen folgende Firmen die MAP-Standardisierungsbestrebungen entweder durch Integration des Protokolls in firmeneigene Produkte oder durch die Bereitstellung von Gateways als Zugang zu MAP-Bussen:

GOULD/MODICON: MAP-Bus-GATEWAY zum MODBUS
(USA)

Honeywell Schaffung übergeordneter Bussysteme und
(USA) MAP-Protokoll

Siemens SINEC H2 (in Vorbereitung mit MAP-Protokoll)
(BRD)

Als Ergänzung zum MAP gibt es für die Büroautomation Standardisierungsbestrebungen im Rahmen des TOP (Technical Office-Protocol) /41/. Das TOP unterscheidet sich vom MAP nur in der Kommunikationsstandardauswahl für die Schicht 1 und 7 des OSI-Modells (vergl. Bild 5.1). Während beim MAP, wie bereits geschildert, der TOKEN-Bus zugrunde gelegt worden ist, ist es beim TOP der Ethernet-Bus auf Basis CSMA/CD (IEEE 802.3).

## 5.3. PROWAY

Der PROWAY-Standardentwurf wurde von der IEC, Technical Committee TC 65 C 1984, als Central Office (CO)-Material veröffentlicht. Der Standardentwurf wurde speziell für die Anwendung in Automatisierungsanlagen für verfahrenstechnische Prozesse ausgelegt. Mit PROWAY (Process Data Highway) werden die Schicht 1 und 2 des OSI-Bezugsmodells protokollmäßig festgelegt (s. Bild 5.1).

Es wird zwischen PROWAY A, B /21/ und PROWAY C /43/ unterschieden. PROWAY A basiert auf dem HDLC-Protokoll (ISO 3309), wie z.B. auch das Bussystem von audatec.

PROWAY B basiert dagegen auf Blockformaten gemäß IEC/ TC 57.

Bei diesen Formaten kann die Codesicherung mehrfach in den Rahmen eingeblendet werden. Diese Formate werden auch innerhalb des PDV-Busses angewendet.

PROWAY C basiert auf dem Dokument ISO/DIS 8802.4, welches die Standards IEEE 802.2 und 802.4 (TOKEN-Bus) enthält. Mit PROWAY C sind größere Strukturen realisierbar, die Formate enthalten zwei Adreßbytes und 4 Byte CRC.

Im Rahmen des User-Highway-Interface des Highway-protocols (Bild 5.1, network- und application-protocol sind nicht Bestandteil des Standards) werden folgende 5 Dienste für Senden und Empfang festgelegt /43/:

1. SDA: Datensenden zu einer einfachen Station mit Quittung
2. GDS: Globales Datensenden an alle fehlerfreien Stationen ohne Quittung
3. RDR: Datenlesen aus einer einfachen Station
4. MOP: Überwachung und Diagnose lokaler PROWAY-Statusvariablen
5. RSR: Steuerung von Nutzerprozessen auf anderen Stationen (RESET, Programmstart).

Diese Dienste gewährleisten eine komfortable Nutzer-Nutzer-Kommunikation.

## 5.4. PDV - Bus

Als PDV-Bus wird die als DIN 19241 /19/, Teil 1 und 2, festgelegte Norm für ein Prozeßbussystem (Anlagenbus) für verfahrens- und fertigungstechnische Prozesse bezeichnet. Es wurde in der Deutschen Elektrotechnischen Kommission (DKE, BRD) im DIN und VDE vom Unterkomitee UK 933.3 Prozeßbus erarbeitet.

Teil 3 liegt als Normentwurf vor /20/. Diese Norm basiert auf Vorarbeiten des Arbeitskreises zur PDV-Bus-Implementierung im Rahmen des PDV-Projektes /18/.

Die PDV-Bus-Parameter enthält wiederum Tafel 5.1

Die Struktur der PDV-Bus-Teilnehmerkopplung zeigt Bild 5.6. Jede Teilnehmerankopplung besteht aus Buskoppler (BK) und der Übertragungssteuereinheit ÜSE /20/. Zwischen beiden Komponenten liegt die Serielle Digitale Schnittstelle SDS, die der Protokollschnittstelle zwischen den OSI-Ebenen 1 und 2 entspricht.

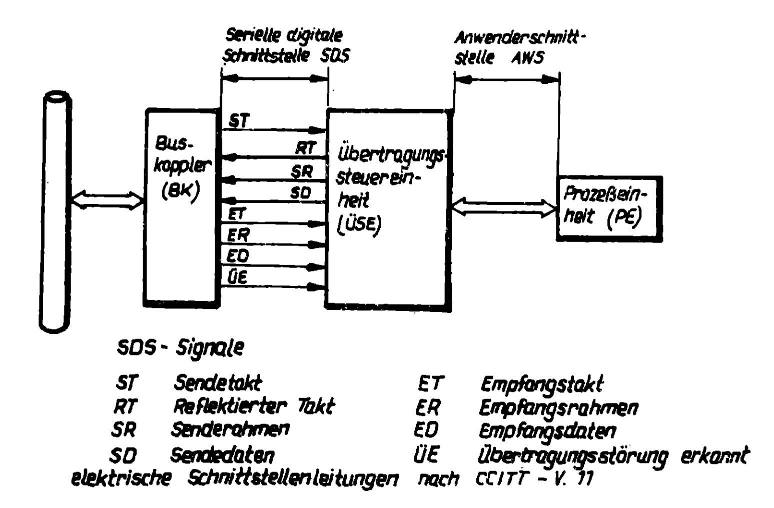



Bild 5.6. Struktur der PDV-Bus-Teilnehmerankopplung und der SDS

Der Buskoppler ist nur in der Funktion festgelegt, leitungsseitig die SDS unabhängig von der Art des Übertragungsmediums zu erzeugen. Die ÜSE realisiert die Kommunikationsfunktionen ab Synchronisation aufwärts.

Innerhalb der Übertragungssteuerung werden folgende Nachrichtenzyklen, bestehend aus Aufruf und Antwort, und besondere Busoperationen unterschieden:

- Globalaufruf einer Station an mehrere, ohne Antwort,
- Querverkehr zwischen zwei Stationen nach Zuteilung der Querverkehrserlaubnis (master) durch die Leitstation,
- Übergabe der Leitfunktion, d.h. der zentralen Zugriffssteuerfunktion an eine andere Leitstation,
- zyklische Kurzabfrage zur Erfassung der Anforderungen der Stationen (Bedienungs-, Querverkehrs-, Leitfunktions-, Alarmanforderungen).

Es werden verschiedene Stationstypen wie Unterstation ohne Leitfunktion (Mithörer, Antworter mit Alarmabgabe, Querverkehrer) und Leitstation (einfache Leitstation, zuteilende Leitstation, Querverkehrs-Leitstation) definiert.

Bild 6.14 zeigt Nachrichtenformate des Seriellen Anlagenbusses von AEG, die gemäß dem PDV-Bus-Standard strukturiert sind.

Für den PDV-Bus gibt es bereits Protokollschaltkreise, so z. B. MEE 3000, entwickelt von Valvo und Brown Boveri, produziert von Valvo und Philips Signetics. Funktionen des MEE 3000 sind u. a.:

- Adressenvergleich und -erkennung
- Funktionscodeerkennung in Nachrichten
- selbständiges Quittieren
- DMA-Kopplung.

Der PDV-Standard hat sich hauptsächlich bei BRD-MRAA breit durchgesetzt. Folgende Systeme orientieren sich am PDV-Bus-Standard /45/:

- Contronic P, Hartmann & Braun,
- Logistat CP 80, AEG,
- Procontrol I, Brown Boveri.

| | ETHERNET | System auf Basis MAP | System auf Basis PROWAY | System auf Basis PDV-Bus |
|---|---|---|---|---|
| max. Übertragungs-entfernung | 500 m ohne repeater sonst max. 2,5 km | | 2000 m | 3000 m |
| max. Teilnehmer-zahl | 1024 | | 100 | 100 |
| max. Datenrate [MBd] | 10 | 5/10 | 1 | 1 |
| Medium | Koax | Koax Breitband 300MHz | Koax | nicht festgelegt |
| Systemstruktur | Bus linien, segmentiert | Linienverbund (Gateways) | Linie | Linie |
| Telegrammgröße [Byte] | 64 ... 1518 (1500 Datenteil) | | max. 1014 | variabel |
| Übertragungsver-fahren | Basisband | Breitband 6 MHz-Kanäle | moduliert FSK | nicht festgelegt |
| Zugriffssteuer-verfahren | CSMA/CD | TOKEN | TOKEN | POLLING |
| max. Zugriffszeit [ms] | nicht angebbar | | 50 | 10 |

Tafel 5.1: Parametervergleich der unteren beiden OSI-Schichten für die vorgestellten Standards

# 6. Beschreibung ausgewählter Anlagenbussysteme

## 6.1. Allgemeine Forderungen an Anlagenbussysteme

Bereits im Punkt 2 wurden Aussagen zu Forderungen an Digital-serielle Datenübertragungssysteme gemacht. Sie sollen an dieser Stelle für Anlagenbussysteme vervollständigt werden. Die Forderungen an Anlagenbussysteme lassen sich in folgende wesentliche Bereiche aufteilen:

1. Zuverlässigkeit durch Ausfalltoleranz, Störsicherheit,
2. Echtzeitsicherheit,
3. Dienstfähigkeit,
4. Topologische Strukturierbarkeit
5. Schnittstellenrealisierung für Fremdsysteme,
6. Nettodatendurchsatz

und im Verhältnis zu den Bereichen 1 - 6 die
7. Ökonomie.

In diesen Bereichen unterscheiden sich Prozeßbussysteme und darunter die Anlagenbussysteme grundsätzlich von den Lokalen Rechnernetzen (Lokale Netzwerke).

Von großer Bedeutung ist eine hohe Zuverlässigkeit der Anlagenbussysteme. Hohe Ausfalltoleranzen bezüglich der Komponenten werden durch strukturelle Redundanzen erreicht.

Dazu zählen:

- einfache bis zweifache Redundanz des gesamten Anlagenbussystems,
- alternative Übertragungswege durch Bildung von Strukturverbänden und Vernetzung,
- dezentrale statt zentrale Buszugriffssteuerung.

Störsicherheit gegenüber äußeren Einflüssen wird u.a. erreicht durch:

- Sicherung der zu übertragenden Blöcke durch Paritätsbit, zyklische Codes, Längenangaben, Sofortquittungen, Bit-für-Bit-Vergleich durch Mithören beim Senden,
- Modulation der Signalcodes,
- Verwendung von Koaxialkabeln und Lichtleitern,
- Rückwirkungsfreie Anpassungen usw.

(Die Einzelbitfehlerwahrscheinlichkeiten sollten durch Codesicherungsmaßnahmen unter $10^{-6}$ liegen /61/ /62/.)

Eine hohe Echtzeitsicherheit bedeutet die sichere Einhaltung von Grenzwerten der Buszugriffszeiten und Datenübertragungszeiten bei allen vorhersehbaren Übertragungszuständen am Bussystem. Für Anlagenbussysteme der Rechner- und Systemverbundebene liegen die Datenübertragungsgrenzzeiten (die den Buszugriff mit einschließen) im allgemeinen zwischen 100 und 1000 ms. Bei einigen Systemen werden in der Rechnerverbundebene wesentlich geringere Datenübertragungszeiten (10 ms) garantiert.

Die Dienstfähigkeit umfaßt die Definition einer transparenten Schnittstelle Nutzerprozeß-Datenübertragung, die Realisierung von Transportfunktionen nutzerunabhängig durch das Übertragungssystem und die OSI-Schichtenmodell-orientierte Architektur des Bussystems.

Die topologische Strukturierbarkeit schließt u.a. die großflächige Überdeckung durch das Bussystem, ökonomische Nachbereichslösungen (schrankinterne Übertragung) und die Bildung von autarken Subsystemen im Gesamtsystem ein. Die Längenausdehnung sollte 3 km betragen und 50 - 100 Teilnehmer sollten an den Bus angeschlossen werden können. Eine integrierte Schnittstellenrealisierung für Fremdsysteme ist eine unabdingbare Voraussetzung.

Bei Bruttodatenraten von mindestens 100 kBd sollten die Nettodatenraten 50 kBd betragen. Die Nettodatenraten werden wesentlich durch die overheads von Übertragungssteuer- und Zugriffssteuerverfahren bestimmt. Diese overhead-Analyse, die zur Verbesserung der Echtzeitsicherheit genutzt werden kann, ist Gegenstand der Zeitverhaltensanalyse von Bussystemen als Teil der Dimensionierung ihrer Übertragungseigenschaften /29/. Darauf soll hier nicht näher eingegangen werden.

Die Echtzeitsicherheit und Nettodatenrate müssen an die unterschiedlichen Bedingungen der zu automatisierenden Prozesse angepaßt sein. Die Zahl der prozeßseitig anzuschließenden Signale und die Signaldynamik (Meldungsschwall usw.) sind wesentliche Einflußgrößen auf die notwendige Leistungsfähigkeit des Bussystems. Für einen verfahrens- und einen kraftwerkstechnischen Prozeß zeigt Tafel 6.1 diese Einflußgrößen.

| Merkmal | Prozeß Teerdestillations-kolonne | Prozeß Kraftwerksblock 700 MW |
|---|---|---|
| Betriebsweise | seltener Wechsel | tägliches An- und Abfahren |
| Analogwerte (Anzahl) | 200 | 2000 |
| Binärsignale[1] " | 60/- | 1200/10000 |
| Regler " | 40 - 60 | 140 |
| Funktionsgruppen " | 5 - 7 | 100 |
| Meldungsschwall " | gering | bis max. 2%/s |

1) aus dem Prozeß/aus der Leittechnik

Tafel 6.1: Prozeßbedingte Einflußgrößen auf die erforderliche Busleistung nach /63/

Im folgenden werden einige ausgewählte Anlagenbussysteme hinsichtlich dieser Bereiche beschrieben.

## 6.2. audatec - Bussystem

Das audatec-Bussystem ist ein zentral gesteuertes leistungsfähiges Linienbussystem. Seine Struktur ist im Bild 2.4 dargestellt.

Es besteht aus den Komponenten /46/:

- serielles Zwischenblockinterface (ZI) mit den Modulen (Bild 6.1):
  - Steuereinheit (ZI-SE)
  - Übertragungseinheit (ZI-ÜE)
  - Übertragungsmedium Koaxialkabel und
- Datenbahnsteuerstation (DSS) bei Großverbundanlagen.

Das gesamte Bussystem kann redundant ausgelegt werden.

Die Steuereinheit realisiert die Grundfunktionen Synchronisation, Serialisierung und Fehlersicherung auf Basis des Schaltkreises U 856 (SIO). Sie dient der Systembuskopplung der nachgeschalteten ZI-Module. Die Nutzerprozesse kommunizieren mit der ZI-SE über den Direkten Speicherzugriff auf Basis des Schaltkreises U 858 (DMA).

Zwischen den Nutzerprozessen und den logischen DMA-Kanälen liegt

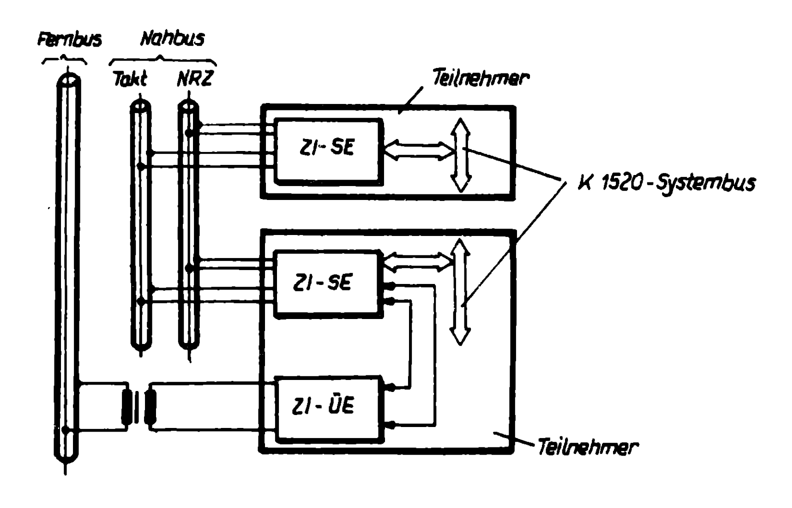



Bild 6.1: Buskoppelkomponenten des audatec Bussystems

die Ebene der Interruptserviceroutinen, die die nutzerunabhängige Übertragungssteuerung ausführen und eine klare Anwenderschnittstelle Nutzerprozeß-Übertragungssteuerung ermöglichen (Bild 6.2).

Die ZI-SE erzeugt den Nahbus, der aus der NRZ-Signalleitung (NRZ-Code s. Tafel 3.3) und der getrennten Taktleitung besteht, bis zu 100 m überbrücken kann und insgesamt den Anschluß von maximal 20 Teilnehmern pro Nahbus zuläßt.

Mit Hilfe der Übertragungseinheit ZI-ÜE werden die Grundfunktionen Übertragungssignalaufbereitung und Signalcodierung realisiert.

Es wird der selbsttaktende und gleichstromfreie Coded Diphase Code (Tafel 3.3) gemäß Empfehlung V.1 des CCITT verwendet. Die Anpassung erfolgt induktiv (Bild 3.5 b).

Die Datenbahnsteuerstation ist eine konfigurierte Mikrorechnereinheit. Sie wird nur bei audatec-Großverbundanlagen zur Realisierung der Zugriffssteuerfunktion am Bussystem und für die Systemüberwachung eingesetzt. audatec-Großverbundanlagen haben im Unterschied zu Kleinverbundanlagen mehr als zwei master-berechtigte Teilnehmer, die nach Zuweisung der Bussteuerfunktion den Bus für die Abarbeitung ihrer Kommunikationsbeziehungen steuern können. Bei Kleinverbundanlagen wird die Zugriffssteuerung zwischen den beiden masterberechtigten Bedienpulten nach dem Reservierungsverfahren abgewickelt.

Die Datenbahnsteuerstationen sind aus Zuverlässigkeitsgründen grundsätzlich redundant ausgelegt, wobei jeweils eine aktive (wird in der Anlaufphase bestimmt) die passive überwacht.

Die Parameter des überwiegend eingesetzten Fernbussystems können Tafel 6.3 entnommen werden.

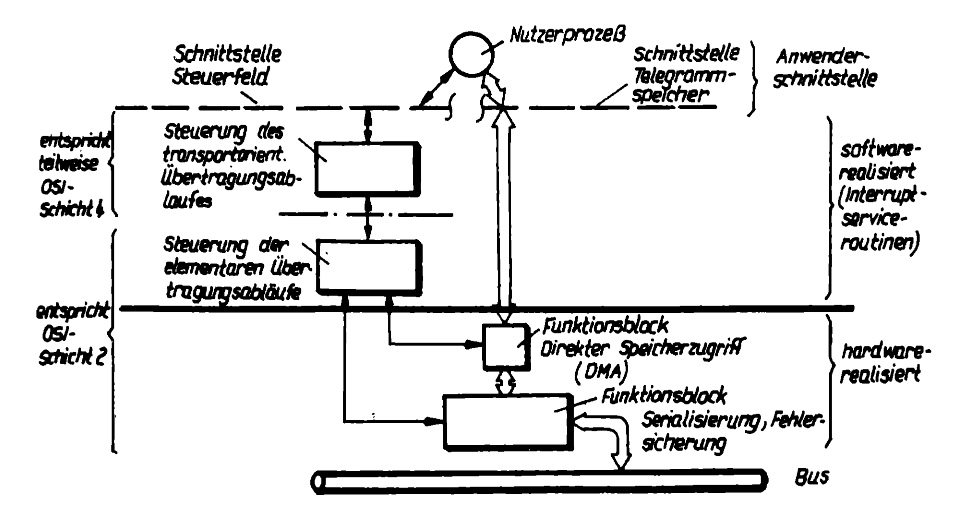



Bild 6.2: Funktionelle Realisierung der Datenübertragung beim audatec-Bus

Das Format der Übertragungsrahmen (Telegramme) basiert auf dem HDLC-Protokoll der ISO gemäß dem Bezugsdokument IS 3309. Der Blockaufbau ist im Bild 3.12 dargestellt.

Für das ZI sind 2 Formate zugelassen:

- Format 1 mit fester Rahmenlänge ohne Datenteil zur Übermittlung von Steuerinformationen innerhalb der Datenübertragungsprozeduren durch die Belegung des Steuerfeldes C und das
- Format 2 mit veränderlicher Länge und Datenteil zur Datenübertragung.

Mit diesen Formaten werden die elementaren Übertragungsabläufe

- Schreiben,
- Lesen,
- Schreiben/Lesen,

die jeweils aus einem Aufruf und einer Antwort (Quittung) bestehen, realisiert (Tafel 6.2).

Aus dem elementaren Übertragungsprozeduren wurden für besondere Systemfunktionen wiederum anwendungsorientiertere Übertragungsprozeduren zusammengesetzt, die durch eine höhere Ebene in den Interruptserviceroutinen abgewickelt werden.

Diese Prozeduren stellen bereits Transportprotokolle dar, z.B.:

- Schreiben/Lesen nacheinander mit K Stationen,
- Schreiben in K Stationen/Warten/Lesen der bereitgestellten Daten in der gleichen Reihenfolge aus den K Stationen.

Da diese Prozedur während einer master-Phase abgewickelt werden kann, läßt sich die Transport-End-End-Steuerung bei dem vorliegenden Zugriffssteuerverfahren mit dem 1. Zyklus für die Abfrage (polling) und dem 2. Zyklus für die master-Vergabe sehr einfach und sicher gestalten. Bild 6.3 zeigt den groben Ablaufplan der durch die DSS realisierten Zugriffssteuerung. Bei der Abfrage werden sowohl master-Anforderungen als auch Systemüberwachungsinformationen der Busteilnehmer übernommen durch die aktive DSS.

Bei einer kleinen Stationsabfrage werden nur die bei der großen Stationsabfrage aller generierten (projektierten) Busteilnehmer ermittelten datenübertragungsgekoppelten Teilnehmer (eingeschaltet, angeschlossen und intakt) angesprochen und so der Abfragezyklus in der überwiegenden Zahl verkürzt.

Die entsprechenden Nutzerprozesse selbst können master-Anforderungen mit einer bestimmten Priorität stellen. Der master wird an den Teilnehmer mit der höchsten Anforderungspriorität übergeben.

Die DSS-Zugriffssteuerung erfolgt zyklisch (Bild 6.4), wobei durch Begrenzung der Teilnehmerzahl am Bus und der master-Zeit pro Teilnehmer eine maximale Zykluszeit und damit obere Grenzen für Reaktionszeiten garantiert werden können.

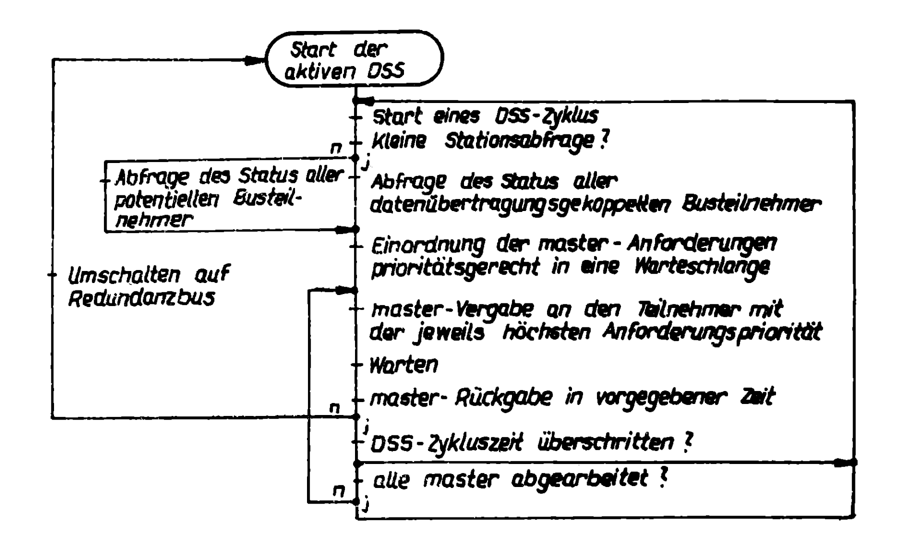
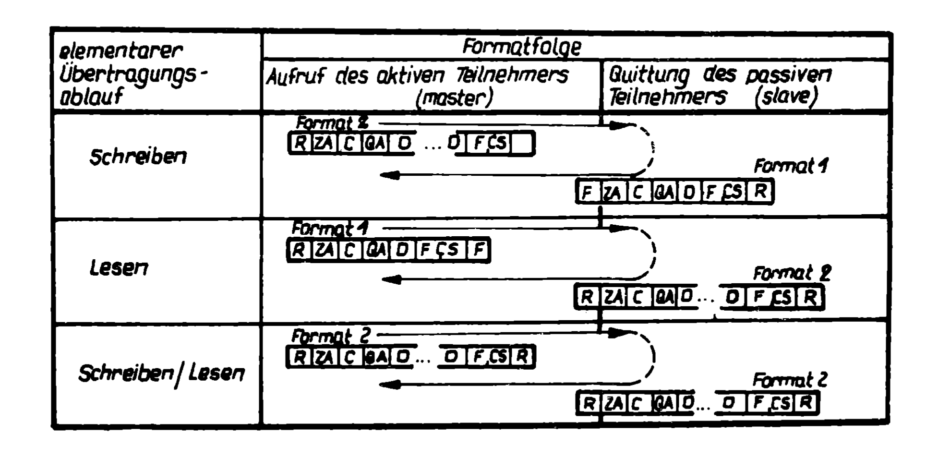



Bild 6.3: PAP der DSS-Zugriffssteuerung




Tafel 6.1: Formatfolgen einiger elementarer Übertragungsabläufe beim audatec-Bus

R Rahmen (F-Byte)
ZA Adreßbyte Zieladresse
C Steuerbyte
QA Datenbyte mit Quelladresse
D Datenbytes
FCS Blocksicherungsbyte

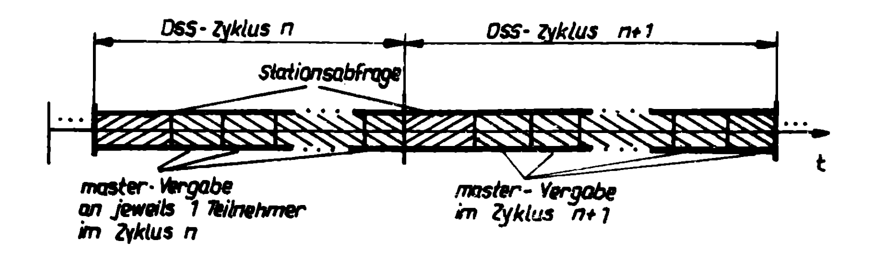



Bild 6.4: Gestaltung des DSS-Zyklus

## 6.3. Bussysteme in TDC - Anlagen

### 6.3.1. TDC 2000 - Bussystem

Das TDC 2000-Bussystem ist eine Verbundstruktur aus maximal 3 Linienbussen, die an der zentralen Datenbahnsteuereinheit angeschlossen sind (Parameter siehe Tafel 6.3).

Das komplette Bussystem ist redundant auslegbar. Jeder Teilnehmer wird über Datenbahnkoppler an den Koaxialbus angeschlossen. Die Buskonfiguration zeigt Bild 6.5.

Die Datenbahnsteuereinheit realisiert Zugriffssteuer- und Systemüberwachungsfunktionen. Dazu zählen:

- Kopieren der Telegramme von einem Datenbahnzweig auf den anderen,
- Redundanzumschaltung,
- Abfrage der Teilnehmer nach master-Anforderungen und Zuweisung der master-Funktion in den poll-Phasen
  (dazu wird zwischen aktiven master und passiven Teilnehmern unterschieden),
- Realisierung des bevorzugten Buszugriffs von maximal 4 ausgewählten Teilnehmern
  (z.B. Bedienstation, Wartenrechner) nach erkannter Anforderung auf der separaten Anforderungsleitung.

Bei der Zugriffssteuerung handelt es sich um ein zentrales polling-Verfahren. Die Datenbahnsteuereinheit realisiert bei ruhenden Verkehr auf dem Bus eine Teilnehmerabfrage im 10 ms-Zyklus. 80 µs nach dem letzten Datenverkehr auf dem Bus wird der nächste Teilnehmer nach Anforderungen abgefragt (poll).

Bild 6.7 zeigt den groben Ablauf der Zugriffssteuerung, Bild 6.8 zeigt den Ablauf einer poll-Phase. Die Übertragung wird grundsätzlich mit 31-Bit-Telegrammen realisiert, mit denen jeweils ein 16-Bit-Datenwort, bzw. Steuerinformationen übertragen werden können.

Der Aufbau eines solchen Telegramms ist im Bild 6.9 dargestellt. Die Telegramme werden zur Übertragungssteuerung:

- Abfrage der Datenbahnsteuereinheit
- Aufruf der Datenbahnsteuereinheit
- Lesebefehl
- Schreibbefehl

und zur Datenübertragung verwendet:

- Daten/Echo/Blockende
- Datenblock.

Es wird zwischen einer ungeblockten Übertragung und einer geblockten Übertragung unterschieden. Bei letzterer werden während einer poll-Phase mehrere Telegramme übertragen. Während des geblockten Betriebes wird eine Nettodatenrate von ca. 18 kBd, bei ungeblocktem Betrieb von ca. 1,2 kBd bei einer Bruttodatenrate von 250 kBd erreicht.

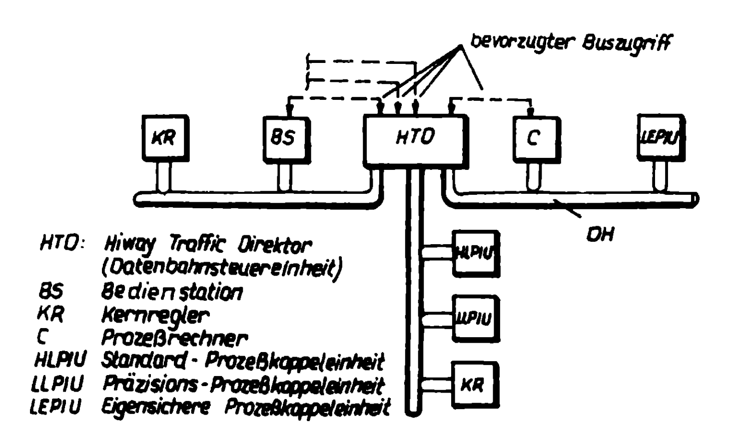



Bild 6.5: Buskonfiguration des TDC 2000-Systems

US HM AM ... CM CG
LCN
(System verbund-ebene)
GG HG PG HG NG
C EOS ... MC
DH
(Rechner-verbund-ebene)
HLPIU LEPIU LLPIU CB EC ... DHP
PC

Gateway

HG Datenbahn-Gateway
GG Universal-Gateway
CG Rechner-Gateway
NG Netzwerk-Gateway
PG Prozessor-Gateway
LCN: lokales Datennetz

US Universal-Bedienstation
HM Archiviermodul
AM Applikationsmodul
CM Rechnermodul

EOS Basis-Bedienstation
MC Multifunktionsregler
CB Kernregler I
EC Kernregler II
DHP SPS-Kommunikator
PC Speicherprogrammierbare Steuerung

Bild 6.6: Buskonfiguration des TDC 3000-Systems

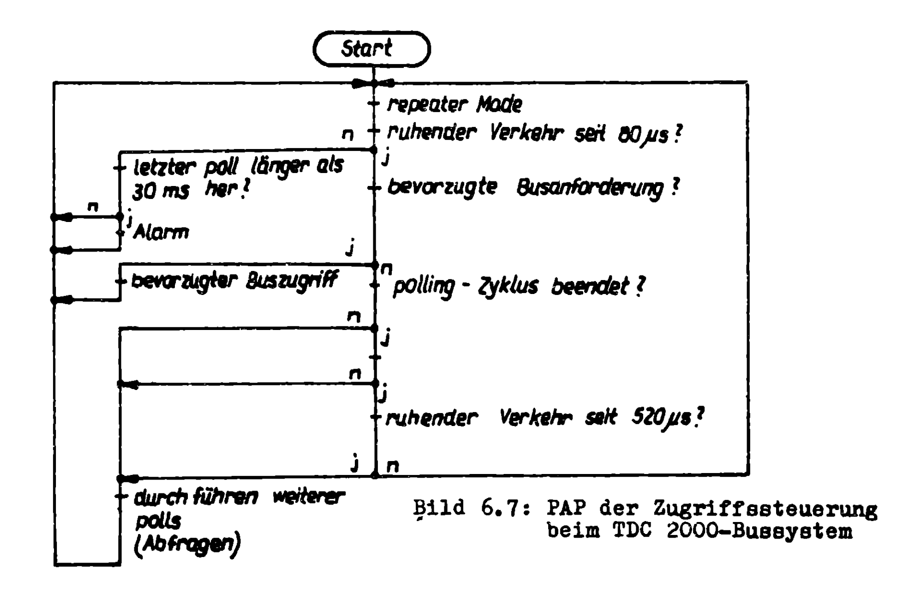



Bild 6.7: PAP der Zugriffssteuerung beim TDC 2000-Bussystem

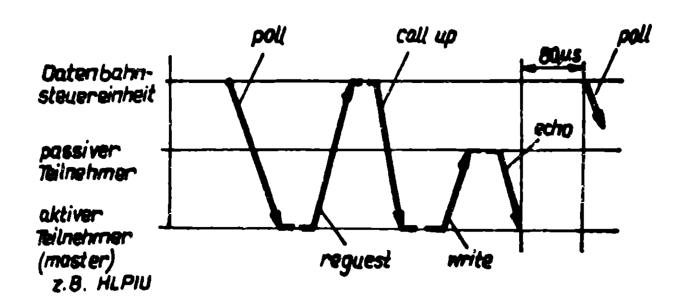



Bild 6.8: Übertragungsablauf einer poll-Phase z.B. für die Alarmmeldung eines aktiven Teilnehmers

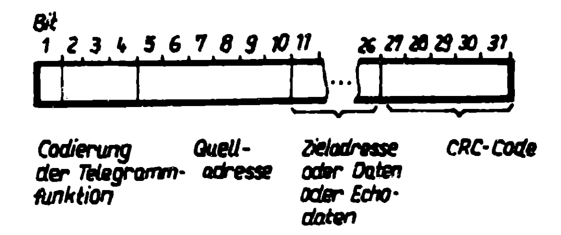



Bild 6.9: Telegrammformate beim TDC 2000-Bussystem

### 6.3.2. TDC 3000 - Bussystem

Bild 6.6 stellt die Struktur und die Konfiguration des TDC 3000-Bussystems dar. Es handelt sich um ein 2-Ebenen-Bussystem mit Buslinien auf Basis TDC 2000 in der Rechnerverbundebene und mit einem Linienbussystem (LCN) in der Systemverbundebene.
Alle Komponenten von TDC 2000 sind in der Rechnerverbundebene anschließbar. Mit dem LCN können Module der Betriebsleit- und Dispatcherebene eingekoppelt werden. Mit einem umfangreichen Bestand an Gateways ist einerseits der Zugang zu Fremdsystemen möglich, andererseits können beide Bussysteme vernetzt werden.
Die Gateways zum Datenbahnanschluß realisieren eine selbständige Datenabfrage aus dem angeschlossenen Subsystem. Beispielsweise kann das Gateway HG 50 kritische Prozeßpunkte im 0,5 s-Zyklus abtasten und mit der Uhrzeit versehen.
In der Systemverbundebene liegen die Reaktionszeiten der Datenübertragung bei ca. 1 s.
Das LCN wurde im Entwurf angelehnt an die Standardisierungsrichtlinie für Lokale Netzwerke IEEE 802 und entspricht einem TOKEN-Bus-System.
Ohne Datenübertragung kann bei max. 64 Teilnehmern ein TOKEN-Umlauf innerhalb von 2 ms, bei 20 Teilnehmern und einer Übertragungskapazität von 2000 Byte pro Teilnehmer und TOKEN-Zuordnung innerhalb von 64 ms realisiert werden. Der Teilnehmer, der gerade das TOKEN besitzt, also master ist, kann max. 4088 Byte empfangen oder senden.

### 6.4. Teleperm M-Bussystem CS 275

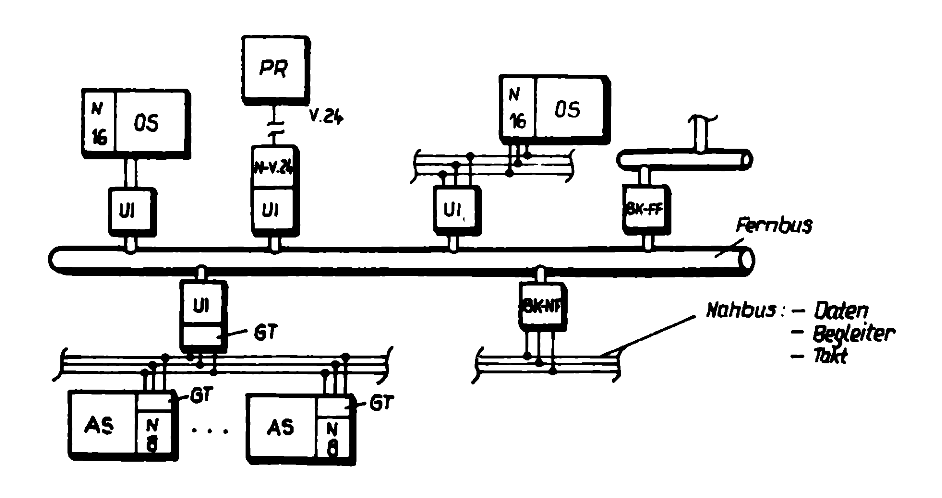
Das Bussystem CS 275 ist stark strukturiert. Es lassen sich Linienbussysteme für den Nah- und Fernbereich zu Verbundstrukturen koppeln. Das Bussystem besteht aus folgenden Komponenten (Bild 6.10):

- Nahbus-Anschaltung
- Nahbus-Kabel (3 Leitungen: Daten, Begleiter zur Identifizierung der Transferelemente, Takt)
- Umsetzer induktiv
- Fernbus-Kabel (Koaxialkabel)
- Buskoppler

Während die Umsetzer Nah- und Fernbus miteinander verbinden, wobei eine Übertragung gleichzeitig sowohl auf dem Nah- als auch auf dem Fernbus anliegt, koppeln Busumsetzer unabhängig voneinander arbeitende Bussysteme durch Zwischenspeicherung der Telegramme.
Die Nahbusanschaltung (s. Bild 6.11) realisiert die Kopplung eines Teilnehmers an den Nahbus, der über Umsetzer oder Buskoppler an den Fernbus angeschlossen werden kann.
Sie besteht aus dem Transferprozessor für die Aufgabe der Übertragungs- und Zugriffssteuerung und der Businterfacelogik für die Synchronisation, Serien-Parallelwandlung und Fehlersicherung.

Mit dem Bit-für-Bit-Vergleich der gesendeten und gleichzeitig mitgehörten Daten kann die Businterfacelogik das Senden am Bus direkt überwachen (ähnlich den Collision Detection beim CSMA/CD).

Das ganze Bussystem ist redundant aufbaubar (Parameter enthält Tafel 6.3).




| | | | |
|---|---|---|---|
| PR: | Prozeßrechner 300 - 16 | UI | Busumsetzer induktiv |
| AS: | Automatisierungssystem 220 / 230 / 231 | GT | Galvanischer Trenner |
| OS: | Bedien- und Beobachtungssystem 250 / 251 / 252 / 252S / 253 | BK | Buskoppler (Fern - Fern, Fern - Nah, Nah - Nah) |
| | | N | Nahbusausschaltung 8, 16 Bit |

Bild 6.10: Bussystemkonfiguration des Teleperm M-System

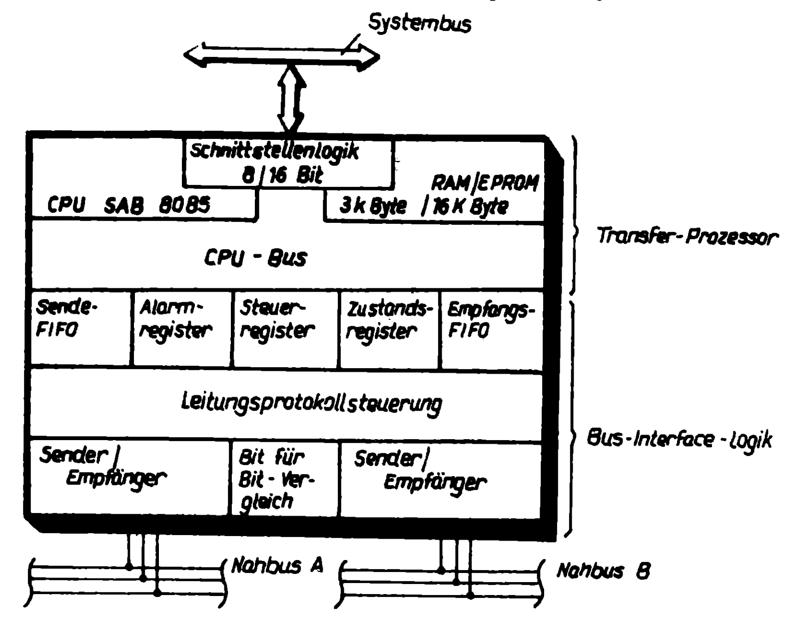



Bild 6.11: Aufbau einer Nahbusanschaltung des CS 275 nach /54/

Beim Nahbus werden zwei Versionen unterschieden:

- mit galvanischer Kopplung von max. 8 Teilnehmern über 20 m
- mit galvanischer Trennung von max. 16 Teilnehmern über 100 m.

Die Übertragungssteuerung und die Zugriffssteuerung werden durch die Nahbusanschaltung und die Buskoppler realisiert. Das Zugriffssteuerverfahren ist dezentral und stellt ein spezielles Auswahlverfahren dar als Kombination von Abfrage und fester Regel (vergleiche Pkt. 3.4.9).
Im "Prozeßbusprotokoll" des Teleperm M-Bussystems, das der OSI-Schicht 2 zugeordnet werden kann, werden das

- Datentransfer- und das
- Mastertransferprotokoll

unterschieden.

Das Mastertransferprotokoll umfaßt drei sich ergänzende Verfahren:

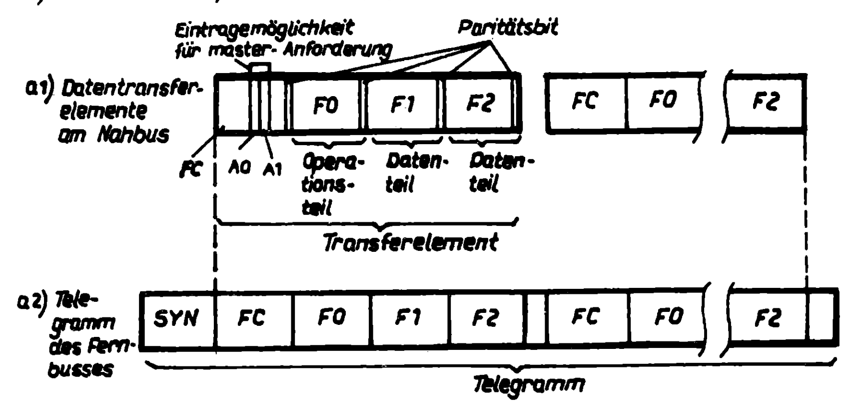
- die time-out-gesteuerte Ergreifung der master-Funktion
- die anforderungsgesteuerte Übergabe der master-Funktion
- die befehlsgesteuerte Übergabe der master-Funktion.

Existiert am Bus kein master (z.B. nach dem Einschalten), ergreift ein Teilnehmer time-out-gesteuert die master-Funktion.
Dazu prüft jeder Teilnehmer kontinuierlich den Verkehrszustand des Busses und startet nach längerem Ruhezustand ein Zeitglied.
Die Parameter der Zeitglieder der einzelnen Teilnehmer werden von ihrer Busadresse abgeleitet, so entsteht eine feste Rangfolge der master-Ergreifung.

Die anforderungsgesteuerte master-Übergabe dient der Zugriffssteuerung an <u>einem</u> Nahbus.
Dazu kann jeder Teilnehmer am Nahbus im Steuerfeld FC des Transferelements einer Antwortnachricht seine master-Anforderung eintragen (Die Gliederung der Nachricht in einzelne Transferelemente zeigt Bild 6.12). Dafür existieren zwei Alarm-Bits AØ und A1. Das höher priorisierte AØ bleibt dem Buskoppler vorbehalten.
Nachdem der momentane master diese Anforderung erkannt hat, sendet er ein sogenanntes Flagtransferelement aus, in das sich alle master-anfordernden Teilnehmer eintragen können. Diese Teilnehmer lesen das Transferelement auch gleichzeitig, so kann sich der höchstpriorisierte master-anfordernde Teilnehmer selbst zum master erklären. Ein solcher master-transfer dauert ca. 150 µs.

Der befehlsgesteuerte master-transfer ermöglicht die Übertragung der master-Funktion über den Fernbus von einer Nahbusteilnehmergruppe zu einer anderen nach einer festgelegten Übergabereihenfolge. Der momentan noch amtierende master sendet dazu ein Telegramm über seinen Nahbusumsetzer an den des nächsten festgelegten Nahbusbereichs. Dieser Umsetzer sendet zur Festlegung des masters in seinem Nahbusbereich ein Flagtransferelement aus.

Buskoppler verbinden autarke Busbereiche, in denen der Buszugriff unabhängig voneinander mit den drei Verfahren gesteuert wird.
Die aus Transferelementen zusammengesetzten Nachrichten am Nahbus und Telegramms am Fernbus haben Längen zwischen 30 und 200 Byte.



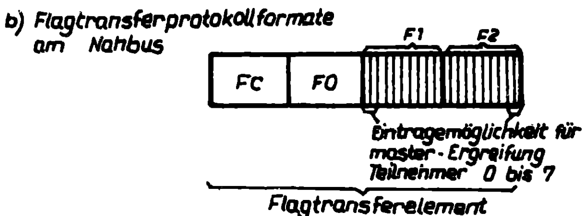




Bild 6.12: Datentransfer- und Flagtransferprotokollformate

## 6.5. Integriertes Kommunikationssystem IKOS von AEG

Das IKOS (Integriertes KOmmunikationssystem Serieller Anlagenbus) umfaßt zwei Anlagenbussysteme unterschiedlicher Leistungsfähigkeit für die Datenübertragung zur Realisierung des Rechner- und Systemverbunds der AEG-Produktfamilien LOGISTAT CP 80 (Steuerungs- und Regelungssystem), GEADAT 90 (Datenerfassungs- und Fernübertragungssystem) und ATM 80 (Prozeßrechner).
Die zwei Anlagenbussysteme heißen SEAB 1 und SEAB 2 (SErieller AnlagenBus). Die Systemstruktur zeigt Bild 6.13.

Beide Bussysteme basieren auf dem Standard DIN 19241, PDV-Bus. SEAB 1 wird realisiert mit einem asynchronen Übertragungsverfahren unter Nutzung von VLSI-Schaltkreisen mit einer UART-Schnittstelle. Er wurde für die kostengünstige Übertragungsrate von 19,2 KBd ausgelegt. Die Übertragung erfolgt frequenzmoduliert (FM) mit Fernmeldekabel. Als Zugriffssteuerverfahren wird ein zentrales polling-Verfahren bei fester master/slave-Zuordnung angewendet.

Der SEAB 1 kann als Linien-, Stern- oder Punkt-Punkt-Struktur konfiguriert werden, wobei nur die Linienstruktur ein Bussystem

gemäß Definition dargestellt.
SEAB 2 ist für Übertragungsraten bis 1 MBd unter Verwendung des PDV-Bus-VLSI-Schaltkreises MEE 3000 von Valvo ausgelegt. Das Übertragungsverfahren ist synchron, die Codierung erfolgt im Manchester-Code. Als Medium werden Koaxialkabel und Lichtleiter eingesetzt.
Das Zugriffssteuerverfahren ordnet sich in die Gruppe der Kennzeichnungsverfahren ein und besteht aus einer TOKEN-Prozedur, der eine Polling-Prozedur unterlagert ist.
Der Teilnehmer, der das TOKEN, also das exklusive Senderecht erhalten hat, wird master am Bus und kann mit mehreren Teilnehmern im Abfrage-Regime verkehren. In das IKOS-System kann eine weitere SEAB-Version, SEAB 3, basierend auf dem Standard PROWAY C (IEEE 802.4), integriert werden, die bisher in der Literatur nur erwähnt worden ist.

Der Entwurf des IKOS wurde am OSI-Modell orientiert.
Der Schicht 1 entspricht der Buskoppler, der Schicht 2 der Kommunikationsprozessor. Beide Schichten können in Form des Bussystems SEAB 1 oder 2 realisiert werden. Den Schichten 3 bis 5 entspricht der Transportabwickler, ein software-System, das in den Teilnehmern implementiert ist und das den Transport (Routing, logische Quittung, Adressierung der Nutzerprozesse über logische virtuelle Übertragungswege) von "benannten Nachrichten" realisiert.
Einer benannten Nachricht sind die 4 Attribute.

- Nachrichtenname (z.B. LGNN 375)
- Nachrichtenweg (Anschluß 1 nach 2 und 3 nach 4)
- Datentyp (z.B. bit) und
- technologische Bedeutung (z.B. Endschalter 50)

der Daten zugeordnet. Im Bild 6.13 ist ein virtueller Übertragungsweg, versehen mit der logischen Nachrichtennummer LGNN 375 eingezeichnet.
Bild 6.14 zeigt den Aufbau eines Aufruf- und eines Quittungstelegramms, der jeweils die logische Nachrichtennummer und den Telegramm-Identifikationszähler enthält.
Gemäß dem PDV-Busstandard wird in der Datenverbindungsschicht in diese Telegramme sowohl im Kopf, der LGNN und im Datenfeld (Auftelegramm) beim SEAB 1 nach jeweils 1 Byte ein PC-Bit für die Querparität und am Ende des Telegramms ein Sicherungsbyte für die Längsparität, beim SEAB 2 alle 2 Byte ein 1-Byte-CRC-Code eingeschoben.

Die Standard-Transportabwickler beinhalten:

- Benutzerschnittstellen für Assembler, Hochsprachen wie PASCAL oder DOLOG (Steuer-Fachsprache),
- Auftragspufferung und -verwaltung in Sende- und Empfangseinrichtung,
- Telegrammerzeugung aus den Anwenderdaten mit logischer Adresse und übertragungsabhängigem Telegrammkopf,
- Einschleusen der Telegramme in die Verbundstruktur und Durchreichen über mehrere Hierarchieebenen hinweg,
- logische Quittung der empfangenen Daten über mehrere Hierarchieebenen hinweg.

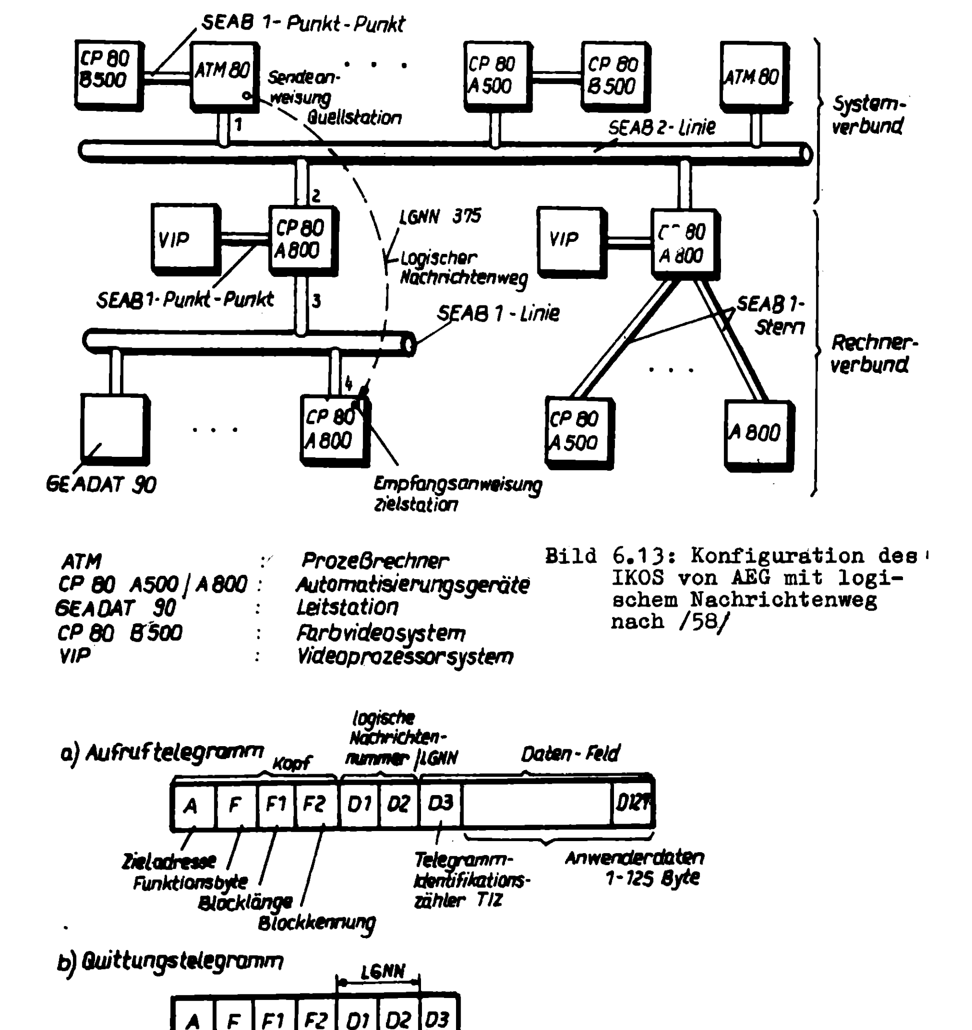



Bild 6.13: Konfiguration des IKOS von AEG mit logischem Nachrichtenweg nach /58/



Bild 6.14: Aufbau eines SEAB-Aufruf- und Quittungstelegramms und Telegrammsicherung bei SEAB 1 und 2

## 6.6. Procontrol I-Bussystem von BBC

Das Procontrol I-Bussystem besteht aus den Komponenten

- Fernbus
- Nahbus
- Zubringerbus gemäß Bild 6.15

Das Bussystem ist komplett redundant aufbaubar.

Der Fernbus ist eine Verbundstruktur aus max. acht sternförmig an die zentrale Verteilstation angeschlossenen Linien von je 1500 m Länge. Auf dem Nahbus, der zur ökonomischen Kopplung nah beieinander liegender Verarbeitungsstationen eingesetzt wird, liegt der gleiche Datenübertragungsverkehr an wie am Fernbus. Er bildet keine autarken Subsysteme.

Der Zubringerbus dient der Kopplung sogenannter kompakter Verarbeitungsstationen I16 (Stationen für Ein-/Ausgabefunktionen am Prozeß) und der Steuerungsstationen I18 (entspricht weitgehend der speicherprogrammierbaren Steuerung Procontic DP 800) an die Universellen Verarbeitungsstationen I14. Auf dem Zubringerbus wird im Gegensatz zu Fern- und Nahbus ein asynchroner Verkehr realisiert. Der Zubringerbus muß zu den in diesem Heft nicht näher beschriebenen Feldbussystemen gezählt werden. Er läßt Datenraten bis 500 KBd bei Längen bis 1000 m zu, arbeitet im zentralen festen master-slave-Verfahren nach dem Auswahl-Prinzip mit max. 50 Teilnehmern, wobei nur der Zyklus 2 realisiert wird (feste Regel) und kann im 17-ms-Zyklus 2000 Binärsignale übertragen.

Fern- und Nahbus des Procontrol I-Systems werden durch den Busverwalter zentral nach dem Auswahl-Prinzip gesteuert. Dabei bildet das Auswahlverfahren mit fester Regel die Basisbetriebsart. Es kann bei anstehenden Ereignissen überlagert werden durch eingeschobene polling-Zyklen. Die Basisbetriebsart stellt der zyklische Betrieb dar.
Entsprechend einer festen Reihenfolge werden die Teilnehmer am Bus nacheinander vom Busverwalter aufgerufen. Sie antworten dem Busverwalter mit Datenblöcken zu je 8 Telegrammen gemäß der Struktur in Bild 6.16. Der Busverwalter verteilt die Telegramme auf die einzelnen Linien.

Beim Antworten kann im Adreßfeld sowohl die Ziel- als auch die Quellortadresse (Entstehungsort der Daten) angegeben werden. Bei letzterer können sich die weiterverarbeitenden Teilnehmer bei den für sie wichtigen Daten auf Weiterverarbeitung des eingelaufenen Telegramms schalten. Diese Basisbetriebsart läuft in dem Normal-Frequenzkanal (0,1 - 2 MHz) der frequenzmodulierten Übertragung der Biphasen-codierten Signale. In einem zweiten Frequenzkanal (5 - 7 MHz) des Breitbandmediums (Twinaxialkabel) können sich unabhängig davon Teilnehmer melden, die anstehende Ereignisse quasi im Interruptbetrieb übertragen wollen. Solche Ereignisse sind:

- programmierte Binärwertzustandsänderungen,
- Überschreitung eines Schwellwertes durch ein Analogsignal, wenn die letzte Analogsignalmeldung um ein vorgebbares Zeitintervall zurück lag (z.B. Überschreitung des Schwellwertes um 0,39 %, Übertragung, wenn letzte Meldung 200 ms zurück lag).

Aufgrund einer Ereignismeldung eines Teilnehmers unterbricht der Busverwalter die Basisbetriebsart und realisiert eine Abfrage nach anstehenden Ereignissen (polling-Zyklus 1) und auf Grundlage dieser Statusmeldung die master-Vergabe für max. 8 Ereignistelegramme an die entsprechenden Teilnehmer. Nach dem Ende der Ereignis-Betriebsart wird die unterbrochene Basisbetriebsart fortgesetzt.

Bild 6.17 zeigt den Übertragungsablauf.

Mit der Ereignisbetriebsart können innerhalb von 1o ms 10 Ereignisse übertragen werden. Die Reaktionszeit für ein Ereignis bzw. für das erste von mehreren beträgt 5 ms. Dabei kann der notwendige zyklische Betrieb zur Erfassung aller Daten noch aufrechterhalten werden. Die max. Zykluszeit bei hoher ereignisorientierter Belastung beträgt 3 s.

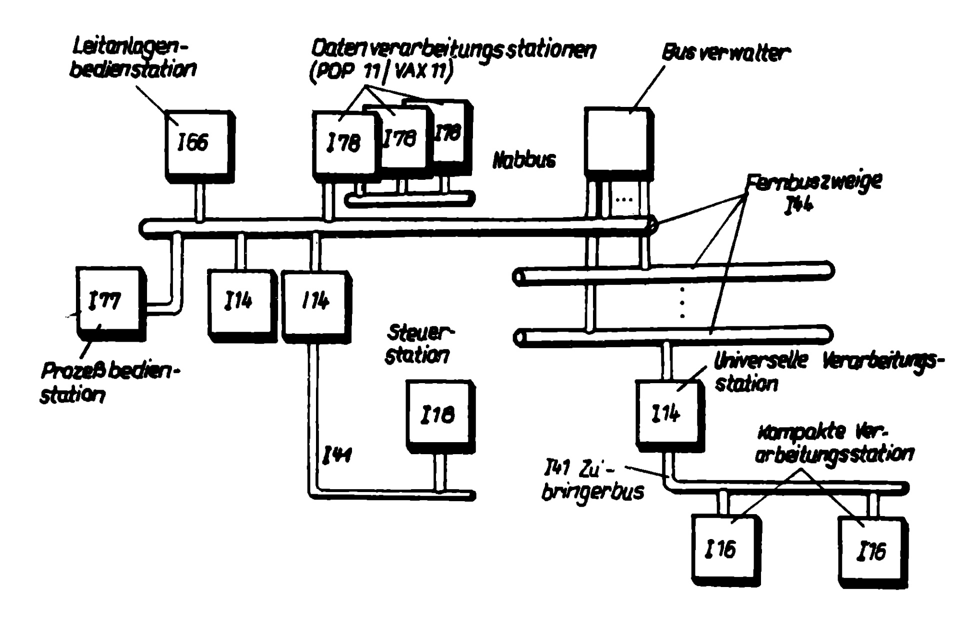



Bild 6.15: Konfiguration des Procontrol I-Bussystems

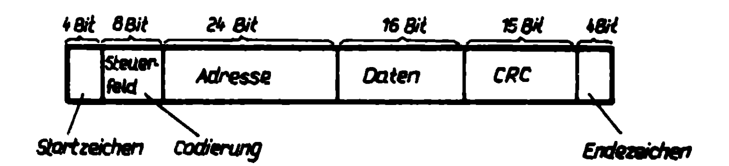



Bild 6.16: Aufbau eines Fernbus-Telegramms

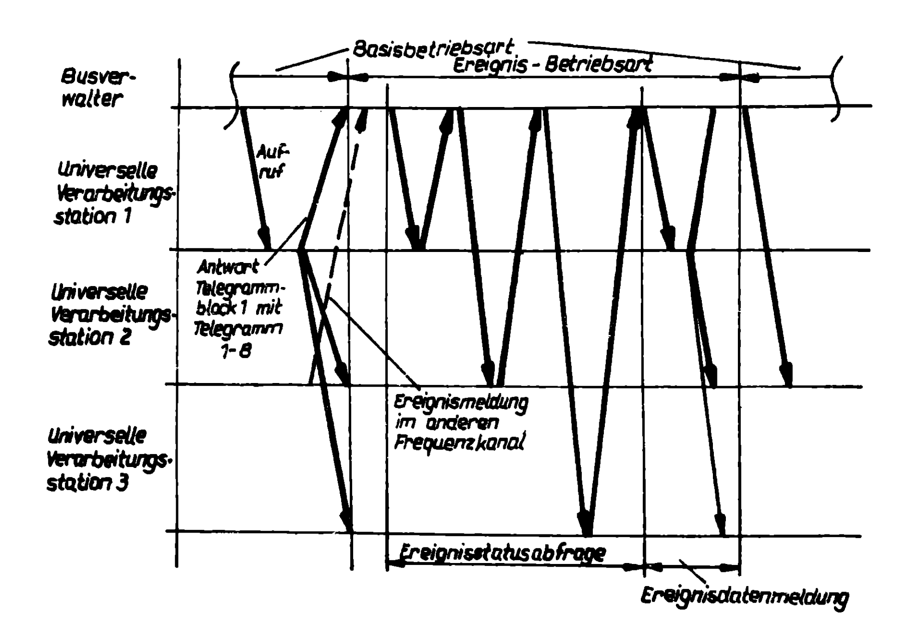



Bild 6.17: Übertragungsfolge auf dem Procontrol I-Fernbus

| Bus- und Systemname | audatec-Bussystem | Data Hiway TDC 2000 | LCN TDC 3000 | CS 275 Teleperm M | Bussystem Procontrol I | Bussystem Contronic P | SEAB 1 | SEAB 2 | MODBUS Modicon-System | MODWAY |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Firma / Land | GRW / DDR | Honeywell / USA | | Siemens/ BRD | BBC / BRD, Schweiz | Hartmann & Braun/BRD | AEG / BRD | | Gould / USA | |
| Jahr | 1981 | 1975 | 1984 | 1978 | 1983 | 1980 | 1983 | | 1978 | |
| max. Länge [km] | 3 (Fernbus) | 1,5 pro Buszw. 3 Zweige | 6 | Nahbus 0,1/0,02<br>Fernbus 4 | Nahbus 0,05<br>Fernbus 8 Zweige je 1,5 | 4,5 | 10 | 2 | 4,5 | 5/10 |
| max. Teilnehmerzahl | 60 (Fernbus) | 28 pro Buszweig insges. 63 | 64 | Nahbus 16/8<br>Fernbus 32 Nahbusse je 16 max. 256 | Fernbus 64 je Zweig insges. 250 | 127 (32 davon aktiv) | 127 | 127 | 32 (bzw. 247 SPS) | 10000 aktive Stationen |
| max. Datenrate [kBd] | 500 | 250 | 5000 | Nahbus 250<br>Fernbus 250 | 1000 | 1000 | 19,2 | 1000 | 19,2 | 1500 |
| Strukturierung des Bussystems | Gateway zwischen Wartenrechner Bussystem und Subsystem-Bus Linienverbund | 3 Zweige an Datenbahnsteuereinheit Sternverbund von Linien | Gateway zwischen LCN und Data Hiway Linienverbund | Gateways zwischen autarken Nah-/Fernbussen | Linie<br>Sternverbund von 8 Linien an Verteilstation | Linie | Verbundstruktur SEAB1-Linie / Punkt-Punkt/ Stern an SEAB2-Linie | | Verbund MODBUS-Linien an MODWAY-Linie | |
| Schnittstellen zu anderen Datenübertragungssyst. | über Gateway (Koppeleinheit) | — | über Gateways | über Gateways | über Gateways | über Gateways | über Gateways | | über Gateways, z.B. MAP-Gateway NW 0200 | |
| Zugriffssteuerart | polling mit master-Vergabezyklus, zentral | polling mit sofortiger master-Vergabe, zentral | TOKEN-Bus, dezentral | Mischvariante Auswahlverfahren/ „flying master", dezentral | Auswahlverfahren mit überlagertem ereignisorientiertem polling, zentral | Auswahlverfahren mit fester Regel, zentral | polling bei festem master-slave, zentral | TOKEN-Bus mit unterlegtem polling dezentral | polling bei festem master-slave, zentral | TOKEN-Bus, dezentral |
| benutzte Standards in Schicht 2 des Schichtenmodells | HDLC | spezielles Protokoll | angelehnt an IEEE 802.4 | angelehnt an PDV-Bus | | PDV-Bus-Standard | PDV-Bus-Standard:<br>UART-Schnittstelle asynchron | PDV-SDS synchron | Protokoll auf Basis zeichenweiser Übertragung (ASCII/RTU) | |
| max. Datenblocklänge [Byte/Telegr.] | 250 | 2 | | 200 | 2 | | 128 | | 100 | |
| Literatur | /46/ /9/ | /48/ | /47/ /49/ | /54/ /50/ /51/ | /55/ /56/ | /53/ | /58/ | /59/ | /64/ | /6/ |

Tafel 6.2 Parameter von ausgewählten Anlagenbussystemen

## 7. Entwicklungstendenzen bei Anlagenbussystemen

Anlagenbussysteme sind ein Hauptmerkmal von Mikrorechner-Automatisierungsanlagen. Sie besitzen eine besondere Bedeutung für die Gestaltung der Anlagenstrukturen.

Die Verbesserung der funktionell-technischen Parameter der Anlagenbussysteme schafft somit die Voraussetzung für die Weiterentwicklung von MRAA.
Die Verbesserung der funktionell-technischen Parameter umfaßt zukünftig im wesentlichen folgende Bereiche:

- Zuverlässigkeit (Verbesserung der strukturellen Redundanz durch Vernetzbarkeit des Bussystems, Einsatz von Modulationsverfahren bei elektrischen Übertragungsmedien, Übergang zu Lichtleitermedien, hochintegrierten Controller-Schaltkreisen, dezentralen Zugriffssteuerverfahren),
- Leistungsfähigkeit (Erhöhung des Datendurchsatzes bis auf 1...10 MBd, Verringerung des overheads durch die Zugriffs- und Übertragungssteuerung, Übergang zu dezentralen Zugriffsverfahren mit Datenübertragungsgrenzzeiten von ca. 10 ms),
- Schnittstellenrealisierung für Fremdsysteme (Integration umfangreicher Gateway-Sortimente, Orientierung der Bussystementwicklung an Standards).

Beim Übergang zu dezentralen Zugriffssteuerverfahren wird das TOKEN-Verfahren besonders bevorzugt. Das zeigt sich auch bei den unter 6 beschriebenen Anlagenbussystemen.

Im Mittelpunkt der Neuentwicklung von Datenübertragungssystemen steht die Orientierung an vorliegenden Standards auf der Grundlage des einheitlichen Schichtenmodells (OSI) der Datenübertragung und die Forcierung der Standardisierungsprozesse.

Damit werden in Zukunft die Anlagenbussysteme, wie bereits unter Punkt 2 beschrieben, als offene Dienstsysteme, weitgehend unabhängig von den übrigen Systemfunktionen gestaltet.

Die wichtigsten Standards wurden im Punkt 5 erläutert. Die MAP-Standardisierungsbestrebungen werden voraussichtlich bis 1990 aus ökonomischen Gründen die Gestaltung der Anlagenbusse grundsätzlich nicht beeinflussen, wohl aber tangieren.
Die Berücksichtigung alle Ebenen des OSI-Modells im MAP-Konzept erfordert eine zu hohe Rechenleistung allein für die Übertragungsprozesse.

PROWAY, PDV und IEEE 802.4 (TOKENBUS) werden weiterhin die Grundlage für die Anlagenbusentwicklung bilden. Wie sich ETHERNET für Prozeßbussysteme durchsetzt, bleibt abzuwarten.

In engem Zusammenhang mit der Standardisierung ist der zunehmende Einsatz von hochintegrierten Protokollschaltkreisen zu sehen. Hier werden, aufbauend auf den bisherigen Schaltkreisen, wesentliche Weiterentwicklungen erwartet, die die Anschlußkosten pro Teilnehmer am Anlagenbussystem stark reduzieren.

Es zeichnet sich ab, daß die OSI-Funktionen der OSI-Ebenen 2, 3, 4 durch diese Controller komplett realisiert werden.

Mit der Erweiterung des Einsatzes von MRAA bezüglich Sicherheitssystemen und Kraftwerksanlagen und ihrer Kopplung mit Systemen der Fertigungsautomation sind weitere Entwicklungsimpulse für Anlagenbussysteme zu erwarten.

Neben den Anlagenbussystemen werden die Feldbussysteme zunehmend Bedeutung erlangen.

## Abkürzungsverzeichnis

| | |
|---|---|
| AFNOR | Association Francaise de Normalisation |
| ANSI | American Standards National Institute |
| ASCII | American Standards Code for Information Interchange |
| BSI | British Standards Institute |
| CCITT | Comite de Consultatif International en Telephone et Telegraphie |
| CRC | Cyclic Redundancy Check |
| DEC | Digital Equipment Corporation (USA-Firma) |
| DIN | Deutsches Institut für Normung (BRD) |
| DIS | Distributed Interface System |
| DKE | Deutsche Elektrotechnische Kommission (BRD) |
| DPCS | Distributed Process Control Systems |
| ECMA | European Computer Manufactures Association |
| EIK | Electronic Industries Association |
| EMUG | European MAP Users' Group |
| EWICS | European Workshop on Industrial Computer Systems |
| FSK | Frequency Shift Keying |
| FTAM | Filetransfer, Access and Management |
| HDLC | High level Data Link Control |
| IEC | International Electrotechnical Commission |
| IEEE | Institute of Electrical and Electronic Engineers (USA) |
| ISO | International Standardization Organisation |
| LAN | Local Area Network |
| LANC | Local Area Network Controller |
| LCN | Local Computer Network |
| LRC | Longitudinal Redundancy Check |
| MAP | Manufacturing Automation Procontrol |
| MMFS | Manufacturing Message Format Spezification |
| NBS | National Bureau of Standard (USA) |
| NCC | National Computer Conference (USA) |
| OSI | Open System Intercomection |
| PDV | Prozeßlenkung mit Datenverarbeitungsanlagen (ein vom BRD-Bundesministerium für Forschung und Technologie unterstütztes Projekt) |
| PROWAY | Process Data Highway |
| PSK | Phase Shift Keying |
| SDLC | Serial Data Link Control |
| TOP | Technical and Office Protocol |

| | |
|---|---|
| UART | Universal Asynchronous Receiver/Transmitter |
| USRT | Universal Synchronons Receiver/Transmitter |
| VDE/VDI | Verband Deutscher Elektriker/Ingenieure (BRD) |
| VRC | Verticaly Redundancy Check |
| WAN | Wide Area Networks (Flächendeckende Netzwerke, Private Netze) |

Bildverzeichnis

| Bild | | Seite |
|---|---|---|

## Tafelverzeichnis

## Literaturverzeichnis


/ 1 / Neumann, P.: Automatisierungsanlagen mit Mikrorechnern. Stand-Charakteristika-Ausblick. KDT-Heft 2 Automatisierungstechnik, GRW Teltow

/ 2 / Autorenkollektiv: Ein neues Automatisierungssystem für verfahrenstechnische Prozesse. Eine Übersicht. KDT-Heft 8 Automatisierungstechnik, GRW Teltow

/ 3 / Gurth, R.: Gerätetechnik audatec Mikrorechnerbaugruppen. KDT-Heft 11A Automatisierungstechnik, GRW Teltow

/ 4 / Löffler, H.: Rechnerverbundsysteme. Akademie-Verlag Berlin 1984

/ 5 / Löffler, H.: Lokale Netze und einige Probleme ihrer Hard- und Softwaregestaltung. TU Dresden, Studientexte lokale Rechnernetze Heft 79/85 I S. 5-11

/ 6 / Färber, G.: Bussysteme. R.-Oldenbourg-Verlag München - Wien 1984

/ 7 / Kersting, Th. u.a.: SINEC H1, ein Bussystem für die Prozeßkommunikation. Siemens Energie & Automation 7 (1985) 2, S. 152-156

/ 8 / Dempf, G.; Grenzdörfer: Datennetze. Techn. Mitteilungen AEG. Telefunken 70 (1980) 4/6

/ 9 / Zallmann, K.; u.a.: Schnelles serielles Linieninterface für 500 KBd im System ursatron. impuls 21 (1981) 4, S. 160-168

/10 / Katalog Automation Bauteile audatec, Systemübersicht; VEB GRW Teltow 1984

/11 / Kafka, G.: Einführung in die Datenfernverarbeitung Elektronik 5 (1983) 11, S. 63-72

/ 12 / Stolte, R.: Digitale Informationsübertragung im prozeßnahen Anlagenbereich von Automatisierungsanlagen. Ingenieurbeleg, TH Magdeburg, Sektion 9, 1985

/13 / ISO 3309 High level Data Link Control Procedures-Frame Structures,

ISO 4335 High level Data Link Control Procedures-Elements of Procedures

/14 / Anonym: Elektronik-Bussysteme: Busfähige Schnittstelle nach RS 485/422. elektronik 12/15.6.84, S. 97-98

/15 / Fiebelkorn, K.: Datenübertragung mit Lichtleitern. rtp 22 (1980) 10 S. 368-373

/16 / Fröhlich, H.: Datenpaketvermittlung und HDLC-Datenübertragungsprozedur. Elektronik 29 (1980), 64-69; 89-94

/17 / Weissberger, A.J.: Bit Oriented Data Link Controls. Computer Design. March 1983 S. 195 ff.

/18 / Buxmeyer, E.; u.a.: Serielles Bussystem für industrielle Anwendungen unter Echtzeitbedingungen (PDV-Bus). PDV-Arbeitskreis TP 30, KFK-PDV 70, Mai 1976

/19 / DIN 19241, Bitserielles Prozeßbus-Schnittstellensystem Teil 1, 2

/20 / DIN 19241, Entwurf, Bitserielles Prozeßbus-Schnittstellensystem Teil 3

/21 / IEC TC 65: Process Data Highway (PROWAY) for distributed Process Control Systems.

Part 1: General Description and Functional Requirements (Central Office, Dec. 1982)

Part 2: Specification for Highway-User Interface Logical (Central Office June 1984)

Part 3: Specification for Highway Protocoll Definition. (Secretariat, Nov. 1982)

/22 / Capel, A.C.; G.F. Lynch: PROWAY: The Evolvig Standard for Process Control Data Highway. InTech 30 (1983) 9, S. 91-94

/23 / The Ethernet. A Local Area Network. Data Link Layer and Physical Layer Specification. Digital Equipment Corporation, Intel Corporation, Xerox Corporation, September 30, 1980, Version 1.0 ("Blue Book")

/24 / Diebenbusch, K.: Kommunikation durch alle Ebenen: Ethernet ein lokales Netzwerk. Elektronikpraxis 17 (1982) 2, S. 10-16

/25 / Anonym: IEEE 802: an standards update. EDN 17 (1982) 2 S. 119-121

/26 / Anonym: CSMA/CD jetzt IEEE-Standard. Elektronikpraxis 18 (1983) 11, S. 46, 47

/27 / Sawatzky, J.: Verhaltensanalyse von busgebundenen Kommunikationssystemen in Mikrorechner-Automatisierungsanlagen Wiss. Zeitschrift der Techn. Hochschule Magdeburg 28 (1984) 2, S. 96-103

/28 / Lindemann, B.: Lokale Rechnernetze - Zugriffsverfahren. Nachrichtentechn. Elektron., Berlin 34 (1984) 9, S. 326-330

/ 29/ Sawatzky, J.: Zur kommunikationsseitigen Beschreibung und Dimensionierung von Mikrorechner-Automatisierungsanlagen. Diss. A, Techn. Hochschule Magdeburg 1985

/30 / Kaufhold, B.: Digitale Nachrichtensysteme mit Vielfachzugriff und dezentraler Vermittlung -ein Überblick. Nachrichtentechn. Elektron., Berlin 33 (1983) 6, S. 231-234

/31 / Zimmermann, H.: OSI-Reference Model-The ISO model of architecture for open systems interconnections. IEEE-Transactions on Comm. 28 (1980) 4, S. 425-432

/32 / Wolfinger, B.: Modelle zur rechnergestützten Simulation von Kommunikationsflüssen in Rechnernetzen. Diss., Universität Karlsruhe Fakultät für Informatik 1979

/33 / CCITT: Interface between data terminal equipment (DTE) and data circuit-terminating equipment (DCE) for terminals operating in the packet mode on public data networks.
Recommendation X.25 CCITT-Doc. AP VII - No 7-E Geneva 1980

/34 / IFIP - WG 6.1: Proposal for an internetwork end-to-end transport protocol, INWG Note 96.1; ISO/TC 97/SC 16, Doc.N. 24, p. 46 March 1978

/35 / Kersting, Th. u.a.: SINEC H1, ein Bussystem für die Prozeßkommunikation.
Siemens Energie & Automation 7 (1985) 2, S. 152-156

/36 / Pfeifer, T.; W. Rühle: Derzeitige Situation und Chancen von MAP. atp 28 (1986) 3, S. 109-116

/37 / Schwarz, A.; H. Stier: Ethernet und ISO-Transportprotokoll - Basis für Automatisierungslösungen der Zukunft, /35/, S. 148-152

/38 / Egle, F.; u.a.: SINEC-Kommunikationsverbund in der Automatisierungstechnik, wie /35/, S. 165-169

/39 / Kleinrock, L.: Queuing Systems, Vol. II Computer Applications. New York 1976

/40 / Iwainsky, A.: Probleme der Kommunikation in dezentralen Systemen für die Prozeßautomatisierung. msr 26 (1983) 9, S. 487-491

/41 / Dieterle, G.: Der Weg zu MAP und TOP.
atp 28 (1986) 4, S. 162-168

/42 / TGL 42887. Zeichenweise Datenübertragung in Kommunikationssystemen

/43 / IEC TC 65. Draft-Process Data Highway, type C (PROWAY C) for distributed process control systems
Part 1: Functional requirements (Secretariat, Jan. 1985)

/44 / Bärwald, W.: Die Schnittstelle zwischen LAN und Digitalen Nebenstellenanlagen. TU Dresden Studientexte Lokale Rechnernetze Heft 79/85 I, S. 42-52

/45 / Walze, H.: Dezentrale Automatisierungssysteme auf PDV-Basis.
Elektronik 8/19.4.1984, S. 45-50

/46 / Katalog Automation Bauteile audatec
VM BADAT 11, VM KEEINH 04; VEB GRW Teltow 1984

/47/ Firmenschrift:
TDC 3000.D3V-51, 10/83

/48 / Firmenschrift:
European Training Centre: CP02. Data Highway
TDC 2000, Reference HO-10-01, Page 1-7

/49 / Brost, B.I.: Prozeßführungssystem TDC 3000.
rtp 26 (1984) 5, S. 226-231

/50 / Firmenschrift:
Siemens Prozeßleitsystem Teleperm M. Katalog
MP 29.1981 S. 3/1 ff

/51 / Firmenschrift:
Das Prozeßleitsystem für Kraftwerke
Siemens Drucknr.: A 190100-E 661-A2-V1

/52 / Distributed Process Control Systems Report 81'.
Infodas Gesellschaft für Systementwicklung und
Informationsverarbeitung m.b.H., Bericht 1981

/53 / Firmenschrift:
Contronic P. Hartmann & Braun. Drucknr.
01/70-10DE 659/10.80 Ca

/54 / Firmenschrift:
Bussystem CS 275, Siemens August 1982/E 65 81

/55 / Firmenschrift:
Procontrol P. Systembeschreibung.
BBC. Drucknr. D GK 1367 80D

/56 / Firmenschrift:
Procontrol I. Systembeschreibung. BBC.
reg. unter GRW-TOI 004/95, 1984

/57 / Firmenschrift:
Foxboro: Spectrum, 1980
reg. unter GRW-TOI 0154/14/K

/58 / Firmenschrift:
IKOS-Prozeßkommunikation im Automatisierungssystem GEAMATIC 2000. Systembeschreibung
AEG 1985

/59 / Ammon, W.: Das Integrierte Automatisierungssystem von AEG-Telefunken.
atp 27 (1985) 4, S. 192-199

/60 / Müller, W.: Procóntrol I, ein dezentrales Industrieleitsystem.
rtp 26 (1984) 11, S. 513-517

/61 / Walze, H.: Realzeitspezifische Anforderungen und Lösungsmerkmale für Prozeßdatenbusse und Lokale Netzwerke (LAN).
rtp 25 (1983) 6, S. 215-219

/62 / Büssing, W.: Dezentrale Prozeßautomatisierungssysteme: Anforderungen und Schnittstellen.
rtp 22 (1980) 2, S. 37-72

/63 / Früchtenicht, H.W.; M. Koolmann:
Sind Automatisierungssysteme allein nach Prozeßanforderungen strukturierbar?
rtp 25 (1983) 4, S. 137-140

/64 / Firmenschrift:
Gould Modbus Industrial Communication System.
Product Description. Gould Electronics 1981